Digitized by Google

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT

Digitized by Google

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch

VIII. Band.

S.

Digitized by Google

Physikalisches Wörterbuch

VIII. Band.

S.

Digitized by Google

Digitized by Google

Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Gmelin. Horner. Littrow. Muncke. Pfaff.

Achter Band.

S.

Mit Kupfertafeln I bis XXIII.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1836.

Digitized by Google

Digitized by Google

S.

S ä u l e.

Volta'sche oder Galvanische Batterie; *Pila electrica;* Pile électrique ou Voltaique; *Voltaic Pile;* Pila di Volta.

Wir haben oben [1] für den Artikel *elektrische Säule* uns eine in ein genaueres Detail eingehende Beschreibung der verschiedenen Formen und Einrichtungen, welche man der elektrischen Säule gegeben hat, so wie mehrerer mit derselben angestellter Versuche, die wir dort übergingen, da sie für die allgemeine Theorie weniger von Belang schienen, vorbehalten. Das Nachfolgende soll so viel als möglich diese Zusage erfüllen, wobei wir uns begreiflich nicht wie in einem Lehrbuche darauf einschränken können, dasjenige hervorzuheben, was als das Beste und am meisten Probehaltige sich nach einer Reihe von Versuchen ergeben hat, sondern auch historisch auf die Verdienste Rücksicht nehmen müssen, welche sich verschiedene Physiker in einer Reihenfolge theils um die Vervollkommnung dieses wichtigen physikalischen Apparats, theils um die Benutzung desselben zur Erweiterung unserer Naturerkenntniſs überhaupt, besonders aber im Gebiete der Chemie, endlich um die genauere Bestimmung der Wirkungsgesetze desselben erworben haben.

Um die Uebersicht der hierher gehörigen Thatsachen zu erleichtern, ist es am angemessensten, die drei Hauptclassen von elektrischen Säulen zu unterscheiden:

1) die *primäre*, welche selbst wieder zerfällt in
   a) die *hydroelektrische* oder die eigentliche *Volta'sche* Säule,
   b) die sogenannte *trockene* oder *Zamboni'sche* Säule;

---

1 S. *Galvanismus* Bd. IV. S. 826.

Digitized by Google

2) die *secundäre* oder abgeleitete, die sogenannte *Ladungssäule*, die nach ihrem ersten Erfinder Ritter auch die *Ritter'sche* genannt werden kann.

Es möge hier zuerst von der hydroelektrischen Säule, dann von der ihr nahe verwandten Ladungssäule gehandelt werden, und demnächst auch die trockne Säule zur Untersuchung kommen.

I. Die hydroelektrische oder Volta'sche Säule im engern Sinne.

Sie unterscheidet sich im Allgemeinen dadurch, daſs mit ihrer Wirksamkeit stets ein nachzuweisender chemischer Proceſs verknüpft ist, der die Mitwirkung des Wassers voraussetzt, und daſs der Quell ihrer Wirksamkeit unmittelbar in ihr selbst liegt.

A. Verschiedene Formen und Einrichtungen derselben.

AA. Die eigentliche Säule.

Die erste Form, in welcher der verstärkte galvanische Apparat auftrat, war die einer Säule im engern Sinne, durch Uebereinanderschichtung von metallischen Plattenpaaren, zwische welchen mit einer wasserhaltigen Flüssigkeit getränkte Tuch- oder Pappscheiben sich befanden. Diese Form ist auch jetzt noch eine der gebräuchlichsten und gewährt für manche Anwendungen, namentlich für die arzneiliche, manche Vorzüge. Als Metalle wurden im Anfange häufig Silber in Form von verschiedenen gröſseren Münzen und Platten von Zink angewandt, erstere wurden aber sehr bald durch das Kupfer verdrängt, das jetzt in den galvanisch-elektrischen Batterieen jeder Art das gebräuchliche Metall ist. Die Form der Metallplatten selbst für die Säulen ist willkürlich, man kann sie rund oder viereckig nehmen. Die Gröſse der Platten kann auf das Mannigfaltigste abgeändert werden, ebenso die Zahl der Abwechselungen. Die gröſsten Platten in dieser Form des Apparats haben zuerst Simon in Berlin in einer Säule von 60 Paaren Kupfer und Zink von 8″. Durchmesser[1], demnächst

1 G. IX. 393.

Biot[1] in einer Säule von zwar nur 12 kreisförmigen Platten, von denen aber jede 14 franz. Zoll im Durchmesser hatte, und van Marum und Pfaff[2] in einer Säule von 110 Plattenpaaren von 5″ Seite angewandt. Die gröſsten Säulen der Zahl der Plattenpaare nach sind von Buntzen, den Wiener Physikern und Ritter errichtet worden. Die des erstern[3] bestand aus 1050 runden Plattenpaaren von Zink und Kupfer von 1″ 8‴ Durchmesser mit Pappscheiben, die mit einer Auflösung von Salmiak und Zucker (welcher letztere angewandt wurde, um die Pappscheiben länger feucht zu erhalten) getränkt waren; sie war so stark, daſs ein Frosch, so groſs auch seine Lebenskraft war, durch Schlieſsung der Kette augenblicklich getödtet wurde. Jacquin[4], Schreibers, Tihawsky und Bremser bauten zur Darstellung des Kaliums eine Säule von 1160 Plattenpaaren, welche zusammen 54 Quadratfuſs 23 Quadratzoll Flächeninhalt von jedem Metalle hatte. Die gröſste Säule, die Ritter[5] errichtete, bestand aus 2000 Plattenpaaren von Kupfer und Zink, die ersteren viereckig, etwas über vier Quadratzoll, die letzteren rund, etwas gröſser als ein Laubthaler, die Pappscheiben von der Dicke einer Linie und mit concentrirter Salmiakauflösung getränkt. Die physiologischen Wirkungen dieser Säule waren so heftig, daſs selbst eine Kette von dreiſsig Personen, nur mit trockenen Händen verbunden, auf das stärkste erschüttert wurde. Um solche groſse Säulen zu errichten, ist es erforderlich, sie in verschiedene kleinere Säulen zu theilen und auf die Art mit einander zu verbinden, wie schon im Artikel *Galvanismus* angegeben worden ist. Die einzelnen Säulen, aus welchen jene mächtige Säule Ritter's bestand, begriffen jede 100 Plattenpaare. Aber auch solche kleinere Säulen erfordern ihre angemessenen Gestelle, um sie bequem handhaben zu können. Man hat verschiedene solcher Gestelle angegeben; das einfachste ist ein starker hölzerner Klotz von wohl ausgedörrtem und zum Ueberfluſs in Oel gekochtem Holze, auf welchen man, um die Säule für gewisse Versuche hinlänglich zu isoliren, eine dicke Scheibe von Harz

1 G. X. 28.
2 G. X. 121 ff.
3 G. XV. 251.
4 G. XXVIII. 133.
5 Physisch-chem. Abhandl. Bd. III. S. 370. G. XIX. 30.

Digitized by Google

aufgegossen hat und in welchen drei hinlänglich lange, wohl überfirniſste Glasstäbe eingelassen werden, auf welche eine wohl überfirniſste Holzscheibe aufgesteckt wird, die hinabgeschoben werden kann, um die Platten gut an einander zu pressen. Sind die Scheiben von einem kleinen Durchmesser, 1 bis 2 Zoll, so ist eine solche Art von Gestell oder Gestellen, wie sie Gilbert und Pohl angegeben haben, zu ihrer seitlichen Unterstützung nothwendig. Diese sind auch dazu geeignet, eine Säule von beliebiger Höhe dadurch so vollkommen als möglich zu isoliren. Das Wesentliche der von Gilbert[1] angegebenen Einrichtung besteht darin, daſs die Säule durch eine Druckschraube vermittelst eines übergreifenden dreieckigen Bretchens von oben zusammengehalten, seitwärts aber gegen das Uebereinanderschieben und Ausweichen der Metallplatten und das Umstürzen nicht durch drei Glasstäbe, sondern in der Höhe jeder 20sten oder 30sten Lage durch drei horizontale Schrauben gesichert ist, die in gleicher Ebene liegen und durch drei hinlänglich dicke lackirte hölzerne Pfeiler zusammengehalten werden, welche unten in das Bodenbretchen eingeschraubt und oben vermittelst eines gröſsern dreieckigen Bretchens, durch dessen Löcher ihre mit Schrauben versehenen Enden gehn, verbunden sind. Um die Säule so gut wie möglich zu isoliren, endigen die Schrauben in kleine Siegellackknöpfchen, mit welchen sie unmittelbar an die Metallplatten andrücken. Mittelst dieser Schrauben wird jede 20ste oder 30ste Platte durch horizontalen Druck von 3 Seiten her über der untersten Scheibe der Säule genau senkrecht erhalten, so daſs sie nirgendshin weichen kann und daher der Druck von oben her stets nur durch Stücke von 20 bis 30 Lagen ausgeübt wird.

Pohl[2] hat durch eine zweckmäſsige Einrichtung sowohl die vollkommene Isolirung der Säule erreicht, als auch dem Nachtheile des Auspressens der Flüssigkeit der untern feuchten Pappen durch den Druck der darüberstehenden Metallplatten abgeholfen. Fig. 1. Auf den beiden Säulen ab und cd, die aus starken Drähten oder Röhren von Metall, auch aus einem festen Holze bestehn können, sind Hülsen von Metall verschiebbar, deren

1 G. VII. 183.
2 Der Elektro-Magnetismus. Berlin 1830. S. 78.

Digitized by Google

je zwei, wie e und f, durch eine Metallplatte g zusammenhängen, welche an massiven Glasarmen h und i von ihnen getragen wird und mittelst Stahlfedern, die unter der Druckschraube der Hülse liegen, in jeder beliebigen Höhe an den Ständern festgestellt werden kann. Die unteren Schichten ruhen auf einer isolirenden Unterlage kl und werden durch die darüber liegende Platte mn so stark zusammengedrückt, daſs sie in ihrer Lage festgehalten werden, ohne daſs jedoch die Flüssigkeit aus der Pappscheibe herausgepreſst wird. Gleichergestalt ruht auf mn die nächst höhere durch eine zweite isolirte Stellplatte ebenso zusammengedrückte Abtheilung der Schichten u. s. w.

Zum feuchten Leiter solcher elektrischer Säulen nimmt man entweder Scheiben von Pappe oder von Tuch, Flanell u. dgl. Letztere haben den Vorzug, daſs sie nicht, wie erstere, so fest an die Platten ankleben, und daher wiederholt gebraucht werden können, während erstere bei länger fortgesetzten Versuchen jedesmal aufgehn, auch die Reinigung der Platten erschweren. Nach Verschiedenheit der Stärke der Wirkung, welche man beabsichtigt, werden diese Scheiben mit Kochsalz oder Salmiakauflösung getränkt. Ritter empfiehlt als besonders wirksam zur Verstärkung eine Lauge von Kochsalzauflösung, Lackmusdecoct und Rindsgalle. Auch kann man zur Verstärkung das Kochsalz in Essig auflösen. Die Tuch- oder Pappscheiben dürfen nur so weit angefeuchtet werden, daſs der Druck des obern Theils der Säule nicht Flüssigkeit auspressen kann, weil diese, indem sie an dem Rande der Platten hinabflieſst und sich zwischen die Zink- und Kupferplatten hineinzieht, durch partielle Schlieſsungen die Stärke der Säule bedeutend schwächen kann. Eben diese Nothwendigkeit des stärkern Auspressens der Tuch- oder Pappscheiben, um jenem Nachtheile abzuhelfen, thut der Wirksamkeit der Säule mächtigen Eintrag. Um derselben überhoben zu seyn, hat Ritter[1] schon frühzeitig die Zinkplatten an der einen Fläche mit einem etwas erhabenen, rund herumgehenden Rande versehn, der gleich beim Gieſsen derselben durch die Form gegeben wird, wodurch die eine Fläche, auf welche die Tuch- oder Pappscheibe zu liegen kommt, einige Linien

1 G. VII. 373.

Digitized by Google

schmäler wird, aber die Pappscheiben einen sehr starken Druck aushalten können, ohne daſs die herausgedrückte Flüssigkeit an den Seiten abflieſsen kann, auch die Scheiben eine sehr starke Tränkung mit der Flüssigkeit zulassen, und das die Metalle so unangenehm verunreinigende Eindringen der herabflieſsenden Flüssigkeit zwischen dieselben verhindert wird. Pohl hat denselben Zweck durch sein Gestell zu erreichen gesucht, wodurch der Druck der obern Säulentheile auf die untern verhindert wird. Auch durch das Aneinanderlöthen der Kupfer- und Zinkplatten wird wenigstens jener zweite Nachtheil verhütet. Doch entbehrt man dabei die Bequemlichkeit, zu manchen Versuchen die Platten einzeln gebrauchen zu können, und an einem feuchten Orte aufbewahrt werden die Zinkplatten stellenweise stark angegriffen und erhalten bald Löcher mit weiſsem Oxyd gefüllt, indem solche Doppelplatten als beständig geschlossene einfache Ketten wirken.

Manche der angeführten Nachtheile der *verticalen* Säulen werden am besten verhütet, wenn man sie in eine *horizontale* verwandelt. Haldane[1] hat diese Einrichtung zuerst in Anwendung gebracht, doch nur auf eine unvollkommene Art, indem er sich begnügte, in ein Bret eine 0,6 Zoll breite Rinne einzugraben, über welche er die aus 1,3 Zoll im Durchmesser haltenden Scheiben bestehende Säule legte, die dann nur auf den Schärfen des Ausschnitts ruhte, und wobei noch überdieſs durch eine wenig geneigte Lage des Brets der aus den feuchten Scheiben sich herabsenkenden Flüssigkeit ein Abfluſs verschafft wurde. Vollkommen entspricht dagegen folgendes Gestell, welches ich gewöhnlich für die Volta'schen Apparate mit feuchten Tuch- oder Pappscheiben anwende, allen Forderungen und hat Vorzüge auch vor dem vollkommensten verticalen Gestelle. In zwei hinlänglich groſse und starke halbkreisförmige Holzbretchen sind zwei hinlänglich starke Holzleisten oder Stäbe in einer schiefen Stellung eingelassen, so daſs die in Gedanken verlängerte Richtung der Glasstreifen, die in sie eingekittet sind, in der Achse der elektrischen Säule, die auf ihnen ruht, einen rechten Winkel einschlieſst. In ihrem obern Rande sind die Leisten mit einer Furche versehn, in welche eine Glasröhre oder ein Glasstreifen einge-

1 G. VII. 202.

Digitized by Google

kittet wird. Auf der innern Fläche des einen halbkreisförmigen Bretchens ist eine dicke, runde und obendrein noch dick mit Siegellack überzogene Glasplatte eingelassen, durch das andere Bretchen geht eine hinlänglich lange Schraube, welche an ihrem einen Ende mit einer Holzscheibe versehen ist, in welche eine wohllackirte Glasplatte eingelassen ist. OPQ stellt eines der beiden Bretchen, worin die Leisten fest Fig. 2.
sitzen, in natürlicher Gröſse vor, wie es für Platten von anderthalb Zoll Durchmesser dient, OBC die in das Bretchen eingelassene Glasplatte, an welcher eine Endplatte der Säule anliegt, HG, NM sind die Stellen der Leisten im Durchschnitte durch ihre Breite und Dicke, BD und CI die Stellen der Glasstreifen im Durchschnitte nach ihrer Breite, Dicke und Lage innerhalb der Richtungen ABD, ACI, welche in dem Mittelpuncte A den rechten Winkel BAC machen, der durch den senkrechten Strich von A auf PQ halbirt wird. Daſs in dieser Richtung keine mathematische Genauigkeit nöthig sey, versteht sich von selbst. Bei der nach einem verjüngten Maſsstabe von der Seite schief entworfenen ganzen Batterie sind A und B die beiden Bretchen, worauf die Stäbe Fig. 3.
befestigt sind, FG ist der eine Stab oder die eine Leiste nach ihrer Breite und Länge, MN der Glasstreifen nach seiner Länge und nach der aus dem Falze der Leiste hervorragenden Breite, CD ist die auf den Glasstreifen ruhende Rolle von Scheiben, welche durch die Schraube M, die durch das Bretchen B hindurchgeht, gegen die Glasscheibe I hin beliebig zusammengedrückt werden können. Die Länge und Stärke der Stäbe und Glasstreifen richtet sich nach der Zahl und Gröſse der Metallscheiben, die man auf diese Art zur Säule schichten will, und die Entfernung der Glasstreifen an ihrem oberen Rande muſs etwas kleiner seyn als der Durchmesser der Metallscheiben, so daſs diese mit ihrem schmalen Rande sicher aufruhn, ohne durchzufallen. Bei groſser Länge, wenn man hundert und mehr Plattenpaare anwendet, und wenn das Gestell für gröſsere Platten bestimmt ist, müssen die Leisten noch unterhalb durch starke Querhölzer, die, um nicht mit den Platten in Berührung zu kommen, etwas ausgeschweift seyn müssen, verbunden werden, durch die das Gestell noch auſserdem mit aufruhn kann. Alles muſs auf das vollkommenste überfirniſst werden. Die groſsen Vortheile eines solchen

Digitized by Google

Geſtelles ſind zu einleuchtend, um weiter aus einander geſetzt werden zu müſsen[1]. Eine ſo erbaute horizontale Säule kann auch ſogleich in eine verticale verwandelt werden, wenn man das eine Endbretchen nicht weit vom oberſten Puncte des Umkreiſes mit einem Loche durchbohrt, durch welches man eine Glasröhre ſteckt, die in eine entſprechende Vertiefung im andern Bretchen paſst und die Säule in ihrer neuen Lage ſichert.

Eine Hauptrückſicht beim Gebrauche der gewöhnlichen elektriſchen Säulen muſs auf ihre Erhaltung genommen werden. Da bei manchen Verſuchen, die eine längere Zeit dauern, die Oberfläche der Zinkplatten ſtark oxydirt wird, oder mit einer Schicht von baſiſchem Chlorzink ſich überzieht, auch die Pappſcheiben ſtark daran adhäriren, ſo müſsen ſie nach gemachtem Gebrauche mit warmem Waſſer ſorgfältig abgeſpült und mit Sand und Aſche gut geſcheuert werden. Die Kupferplatten, die nur beim Gebrauche des Salmiaks ſtark angegriffen werden, werden am beſten mit Branntweinſpülig gereinigt, in welchem man ſie eine Zeit lang liegen läſst.

BB. Zellen-Apparate.

Sehr bald wurden die gewöhnlichen Volta'ſchen Säulen durch die *Zellenapparate* (die man zu den Trogapparaten im weitern Sinne rechnen kann und die von mehreren Phyſikern auch mit dieſem Namen bezeichnet worden ſind) verdrängt. Cruikshank[2] war der erſte, der ſie in Anwendung brachte. Er lieſs aus Holz, das im Backofen getrocknet war, eine Art von Trog machen, der 26″ lang, 1,7″ tief und 1,5″ breit war, und in deſsen Längenwände Falzen eingeſchnitten wurden, jede ungefähr 0,1″ tief und ſo breit, daſs zwei auf einander gelöthete Platten Zink und Silber, jede von 1,6 Quadratzoll Oberfläche, ſich genau hineinſchieben lieſsen. Die Falzen hatten eine ſolche Entfernung von einander, daſs je drei derſelben eine Länge von 1,3″ einnahmen, ſo daſs die ganze Maſchine 60 Plattenpaare faſste. Die zuſammengelötheten

1 Dieſe Einrichtung mit einigen Verbeſserungen iſt entlehnt aus Erfahrungen über die Heilkräfte des Galvanismus vom Hofrath Hellwag in Eutin. Hamburg 1802.

2 G. VII. 99.

Metallplatten wurden mittelst eines Kittes aus Harz und Wachs völlig wasserdicht in den Trog gekittet, so daſs kein Tropfen Flüssigkeit aus einer Zelle in die andere dringen konnte. Die Zellen oder Zwischenräume zwischen den Metallplatten füllte er mit Salmiakauflösung. Es versteht sich von selbst, daſs die Plattenpaare alle einerlei Stellung haben und in allen die Silberseite nach derselben Seite hin gerichtet seyn muſs. Berührt man (bemerkt Cruikshank) die Flüssigkeit in der ersten und letzten Zelle, so erhält man einen starken Schlag in den Armen, der sich von dem Schlage einer gewöhnlichen Volta'schen Säule etwas unterscheidet, indem er lebhafter, minde bebend (*less tremulous*) und ähnlicher dem gewöhnlichen elektrischen Schlage ist. Indem sich Cruikshank zwei solche Maschinen, jede von 50 Plattenpaaren, verfertigen lieſs, konnte er sie zu einer einzigen von 100 Plattenpaaren vereinigen. Eine solche gab einen heftigen Schlag, wobei der Funke selbst bei Tage sichtbar war, aber merkwürdig schwach erschien ihm die geringe Kraft, welche sie in der Zersetzung des Wassers äuſserte, in der sie nicht mehr that, als höchstens eine gewöhnliche Säule aus 30 Plattenpaaren, deren Schläge nicht $\frac{1}{4}$ so stark als die des Zellenapparats waren. Um nach gemachtem Gebrauche die Zinkplatten zu reinigen, goſs Cruikshank in die Zellen verdünnte Salzsäure und lieſs sie darin einige Minuten stehn. Auch noch nach einem einen Monat lang fortgesetzten Gebrauche zeigte sich die Maschine bei neuer Füllung noch ebenso wirksam, wie im Anfange, und ihre Wirksamkeit wurde auſserordentlich verstärkt, als Cruikshank zur Kochsalzauflösung etwas Salpetersäure oder Salzsäure hinzufügte. — Diese Zellenapparate wurden bald durch Vergröſserung der Oberfläche der Plattenpaare und durch Vereinigung vieler einzelner Tröge zu einer als ein Ganzes wirkenden Maschine ins Riesenmäſsige verstärkt. Pepys's Apparat[1] bestand aus 60 Fig. 4.
Paaren Zink- und Kupferplatten, in zwei nach der beschriebenen Art eingerichteten Trögen vertheilt. Diese bestanden aus Mahagoniholz mit einem Firniſs überzogen, zum Schutze gegen die Flüssigkeit der Zellen und um eine Ausgleichung der Elektricität durch die Wände zu verhüten. Die Platten waren Quadrate von 6″ engl. Seite, und, um länger brauchbar zu seyn, so dick, daſs jedes Plattenpaar 4 Pfund wog; jeder

1 G. XV. 237. 466.

Trog war an seinen beiden Enden mit Zapfen versehn, wel-
che auf der Querseite des für den Apparat bestimmten Tisch-
chens auflagen und so angebracht waren, daſs der Schwer-
punct des Trogs unter der Linie durch beide Zapfen lag. Die
Tröge stellten sich daher nicht bloſs von selbst horizontal,
sondern lieſsen sich auch leicht umkehren, wenn man sie aus-
gieſsen wollte. Zur bequemern gleichzeitigen Füllung der
Fig. 5. Zellen dienten zwei Gefäſse. Das eine stellt eine Vereinigung
von 6 Trichtern vor, die so eingerichtet sind, daſs sie in 6
an einander stoſsende Zellen hineinreichen. Das andere ist
Fig. 6. ein Gefäſs von Zinn mit sechs Abtheilungen und ebenso vie-
len Ausgüssen, deren jede genau so viel Flüssigkeit als eine
einzelne Zelle faſst. Vermittelst dieser beiden Geräthschaften
lassen sich die Tröge schnell und bequem mit jeder Flüssig-
keit füllen. Man setzt die Trichter in 6 Zellen, taucht das
andere Gefäſs in die Flüssigkeit, bis es gefüllt ist, und gieſst
es in alle 6 Zellen zugleich aus. Zur Füllung der Zellen
wurden 32 Pfund Wasser und 2 Pfund concentrirter Salpeter-
säure verwandt. Die beiden Tröge wurden an dem einen
Fig. 7. Ende durch einen Metallbogen verbunden. FF sind die bei-
den Hauptleiter, aus zwei Stäben von Kupfer mit einem Wul-
ste bestehend. Sie gehn durch Löcher, welche im Deckel
des Tischchens angebracht sind, in die Endzellen der Tröge
hinab. Auf sie lassen sich zwei andere in ein Knie gebogene
hohle Metallleiter und auf diese wieder zwei andere GG, die
sich mit einer Kugel endigen, aufschieben. Auch lassen sich,
wenn der Versuch es erfordert, zwei Schälchen auf die Haupt-
leiter aufschieben. Die beste Art, die Verbrennungsversuche
anzustellen, ist, daſs man den einen der Hauptleiter in eine
Schale voll Quellwasser leitet und auf den andern die Kör-
per, die man verbrennen will, befestigt. Kohlen von Bux-
baum wurden in einer Länge von 2″ rothglühend und blieben
es fortdauernd. Der elektrische Strom vermochte Kohlen
selbst dann noch zu entzünden, wenn er durch 16 Menschen
gegangen war, die sich mit feuchten Händen angefaſst hatten.
Rollblei verbrannte mit groſser Lebhaftigkeit, indem es Gar-
ben von Funken mit Rauch aussprühte. Blattsilber verbrannte
mit einem intensiven grünen Lichte und Blattgold mit einem
glänzenden Lichte, ohne Funken und Rauch. Platindraht,
$\frac{1}{12}$″ dick, wurde rothglühend und schmolz zu Kügelchen.

Doch die gröſsten Zellenapparate sind die des *Royal Institution* in London und der *École polytechnique* in Paris. Jener besteht aus 24 Plattenpaaren Kupfer und Zink, jede von 12″ Seite, aus 100 Plattenpaaren, jede von 6″ Seite, und aus 150 Plattenpaaren, jede von 4″ Seite. Zur Zersetzung des Kali's und Natrons wendete H. Davy die beiden letzteren an, so daſs also 250 Plattenpaare in Wirksamkeit gesetzt wurden. Die Zellen selbst wurden mit einem Gemische von Alaunauflösung und verdünnter Salpetersäure gefüllt.

Von dem groſsen Zellenapparate der *École polytechnique*, durch welchen die Franzosen den Engländern nacheiferten, haben Gay-Lussac und Thénard eine ausführliche Beschreibung und Abbildung gegeben[1]. Dieser Apparat besteht aus 500 gleichen Plattenpaaren aus Kupfer und Zink, die zusammen gelöthet sind, jedes Plattenpaar 4 Kilogrammen (8 Pfund) und zwar das Kupfer 1, das Zink 3 Kilogrammen wiegend, deren groſse Seitenflächen Vierecke von 0,3 Meter Seite (11,1 paris. Zoll) bilden, und 100 Plattenpaaren von demselben Gewichte und derselben Oberfläche, aber in Gestalt eines Rechtecks 0,6 Meter lang und 0,15 Meter breit. Die Platten sind in 7 hölzernen Rahmen befestigt. Zwei auf einander folgende Plattenpaare sind an drei Rändern durch hölzerne, mit einem Harzfirnisse überzogne Lineale getrennt, ihre Entfernung beträgt ungefähr 1½ Linien. Alle Plattenpaare desselben Rahmens sind von auſsen mit Firniſs überzogen, so daſs der Raum, welcher zwei auf einander folgende Plattenpaare trennt, nur an einer einzigen Seite offen ist, an welcher die Flüssigkeit hineingegossen wird. Um die Zellen zu füllen, stellt man die 7 Rahmen parallel neben einander, und etwas höher an dem einen Ende jedes derselben zwei Tonnen, die eine voll Fluſswasser, die andere voll der sauren Flüssigkeit, welche den elektr. Strom erregen soll. Der Rahmen wird so gestellt, daſs die obere Fläche der Plattenpaare etwas geneigt ist, und hölzerne gefirniſste Leisten, welche längst der Ränder dieser Platten gestellt werden, halten die Flüssigkeit, die aus den Tonnen flieſst, zurück, bis sie die Zwischenräume erreicht hat, die diesen Tonnen zunächst stehn.

1 Recherches physico-chimiques. Par. 1811. p. 1. Ausgezogen in G. XXXII. 41.

Digitized by Google

Durch einen Heber flieſst die Flüssigkeit in einen hölzernen Trichter ab, der über dem mittelsten Zwischenraume hängt. Da alle Platten in dem untern Theile in der Mitte ihrer Breite ein cylindrisches Loch haben, so füllen sie sich von dem mittlern Zwischenraume aus. Die Löcher an den beiden Endplatten sind durch einen Stab von Fischbein mit Wachs überzogen und einen Pfropfen geschlossen. Nach beendigtem Versuche wird die Flüssigkeit abgelassen und mit dem Fluſswasser aus den andern Tonnen werden die Zwischenräume sorgfältig ausgewaschen.

Die Erfolge mit diesem Apparate boten jedoch nichts Auſserordentliches dar. Die Länge der verbrannten oder zum Glühen gebrachten Eisen- und Platindrähte ist nicht angegeben. Baryt, Strontian und Kalk zeigten am negativen Pole deutliche Zeichen des Verbrennens, insbesondere zeigte der Kalk das Schauspiel einer sehr rothen, oft erneuerten Flamme. Nach 12 bis 15 Minuten nach der Füllung hatte der Apparat seine Wirksamkeit schon gröſstentheils verloren.

CC. Eigentliche Trogapparate. Becherapparate.

Von den Zellenapparaten unterscheiden sich noch die *Trogapparate* im engern Sinne, bei welchen die hierzu eigends eingerichteten Combinationen der Metallplatten in eigends eingerichtete Tröge erst beim Gebrauche eingetaucht und nach demselben wieder herausgenommen werden.

Die erste Idee zu diesen Trogapparaten gab der Becherapparat (*Corona di tazze*), welcher von dem berühmten Erfinder der Säule selbst herrührt und welcher auch bald von einigen Experimentatoren, namentlich von Davy[1], Brugnatelli[2] und Desormes[3], zur Aufklärung der Theorie der Säule mit Nutzen gebraucht wurde. Eine Reihe von Gläsern oder Bechern (die nur nicht metallisch seyn dürfen) wird mit warmem Wasser oder einer Salzauflösung angefüllt und in jedes Glas eine Zink- und Silberplatte getaucht, die sich aber nicht berühren dürfen. Jede Platte muſs einen verlängerten Streifen oder Haken haben, mittelst dessen die Platten der verschie-

1 G. VIII. 300.
2 G. VIII. 237.
3 G. IX. 18.

Digitized by Google

denen Gläser sich so in Verbindung setzen lassen, daſs das Zink des ersten Glases das Silber des zweiten, das Zink des zweiten Glases das Silber des dritten berühren und so ferner, bis Zink und Silber aller Gläser auf diese Art mit einander verbunden sind. Volta nahm Platten von einem Quadratzoll Oberfläche, die sie unter einander verbindenden Streifen können auch bloſse Drähte seyn. Die beiden äuſsersten Gläser stellen bei dieser Anordnung die Pole dieser Art von Säule dar und die Schlieſsung zwischen dem ersten und letzten Glase mit den Fingern bringt einen elektrischen Schlag hervor.

Eine Abänderung dieses Becherapparats rührt von Oersted her, welche Gahn noch etwas verbesserte[1]. Letzterer nahm nämlich 4 Zoll hohe und einen Zoll weite Gläser und legte auf den Boden eines jeden etwas Blei, Zinn oder Zink oder ein aus diesen Metallen gemischtes Amalgam. Das schmale Ende eines zuvor in Quecksilberauflösung getauchten und dieses Ende ausgenommen mit einer Mischung aus Wachs und Harz überzogenen, streifenförmig geschnittenen Kupferblättchens wurde in dieses Amalgam gesteckt, das andere breitere nicht überzogene Ende in das andere Glas hineingebogen, so daſs es in einiger Entfernung über dem Amalgam blieb. Auf das Amalgam warf Gahn einige Zinkstückchen, füllte in die Gläser liquiden schwefelsauren Zink, dem noch etwas Schwefelsäure zugesetzt wurde, und überzog den Rand der Gläser mit einer Mischung aus Wachs und Harz, um das Uebersteigen salziger Flüssigkeiten über die Ränder zu verhindern. Das Amalgam dient nur zur genauern und vollständigern Berührung zwischen Zink und Kupfer. Der Vortheil dieser Einrichtung besteht vorzüglich darin, daſs man einzelne Zinkstückchen und Körner anwenden und, wenn das Metall oxydirt und aufgelöst ist, neue Stücke hineinwerfen kann.

Diese Becherapparate gestalteten sich später zu den eigentlichen Trogapparaten und in dieser Form wuchs der Volta'sche Embryo unter den Händen der Physiker zur riesenmäſsigen Gröſse. Den eigentlichen ersten Trogapparat gab Wilkinson an[2]. Einen Trog nämlich, wie er zu den Zellenapparaten längst in England gebräuchlich war, theilte er, statt

---

1 G. XIV. 237.
2 G. XXVI. 361.

die zusammengelötheten Plattenpaare in Falzen desselben einzulassen, durch hölzerne Zwischenwände, welche einen halben Zoll von einander entfernt und auf das beste verkittet waren, in einzelne Zellen ab. Je eine Zink- und eine Kupferplatte, die etwas kleiner als diese Zellen waren, lieſs er an das Ende eines Metallbogens anlöthen, der so lang war, daſs sich die Platten in zwei an einander stoſsende Zellen hineinschieben lieſsen. Auf jedem dieser Bogen war zu oberst ein Ring so angelöthet, daſs er, wenn die Platten in die Zellen eingesenkt waren, senkrecht auf der Axe des Trogs stand und daſs sich dann ein eiserner Stab durch alle Ringe hindurch schieben lieſs. Dieses geschieht, wenn man die Platten wieder herausnehmen will, um sie vom Oxyde zu befreien. Durch diese Einrichtung ward der doppelte Vortheil erreicht, daſs auch die zweite Fläche jeder Metallplatte, die bei dem Zellenapparate durch das Zusammenlöthen verloren geht, so wie der Theil der Oberfläche, der bei letzterer Einrichtung in die Falze eingekittet ist, mit in Wirksamkeit versetzt wird oder als erregende Oberfläche mit wirkt. Daſs ein solcher hölzerner Trogapparat auf das vollkommenste an seiner innern Oberfläche mit einem gut isolirenden Kitte überzogen seyn muſs, um alle Ausgleichung der Pole durch die Seitenwandungen des Trogs und um jede Communication der Flüssigkeit von einer Zelle zur andern, die denselben Nachtheil herbeiführen würde, zu vermeiden, versteht sich von selbst. In einem sehr groſsen Maſsstabe wandte Children[1] einen solchen Trog an, und zwar in seinen ersten Versuchen durch Vergröſserung der Platten zu einer Länge von 4 engl. Fuſs und einer Breite von 2 Fuſs, in seinen spätern Versuchen[2] sogar zu einer Länge von 6 Fuſs und einer Breite von 2 Fuſs 8 Zoll, die also an beiden Seiten zusammengenommen 32 Quadratfuſs Oberfläche hatten. Die Zink- und Kupferplatte jedes Plattenpaares waren mit einander durch einen Streifen Blei verbunden und alle Platten in der bekannten Folgenreihe an einen hölzernen Rahmen gebunden, der an Seilen und Rollen durch Gegengewichte im Gleichgewichte hing, daher er sich leicht hinab und herauf bewegen lieſs, so daſs man die

1 G. XXXVI. 364.
2 G. LII. 133.

Platten nach Willkür in die Tröge hinablassen und wieder herausziehn konnte. Der Trog von Holz bestand aus 21 Zellen, welche zusammen 940 Gallonen Flüssigkeit (jede zu 191 Pariser Duodecimalkubikzollen oder $3\frac{1}{10}$ Berliner Quart) faſsten. In jeder der beiden äuſsersten Zellen befand sich demnach nur eine Platte, und zwar in der einen eine Kupferplatte, die zu der in der nächsten Zelle hängenden Zinkplatte gehörte, in der andern äuſsersten eine Zinkplatte, die mit der in dem vorangehenden Troge hängenden Kupferplatte zusammenhing. An jedem Pole der Batterie war eine Röhre von Blei von 0,75 Z. Durchmesser gelöthet, deren anderes Ende in ein Gefäſs mit Quecksilber herabging. An jedem Ende des Trogs stand eines dieser Gefäſse und das Quecksilber in beiden ward in leitende Verbindung gesetzt, wie man die Batterie schlieſsen wollte. Mit dieser vorzüglich durch die groſse Oberfläche der einzelnen Platten ausgezeichneten Batterie wetteiferte eine nach demselben Principe eingerichtete durch die auſserordentliche Zahl ihrer Plattenpaare, welche für das *Royal Institution*, dessen Mitglieder über 1000 Pfd. Sterling unterschrieben, angeschafft wurde [1] und aus 2000 Plattenpaaren Zink und Kupfer, jede Platte von 6 Zoll Seite, bestand, die in 200 hölzerne Tröge vertheilt waren. Die Einrichtung eines einzelnen solchen Trogs erkennt man aus der Abbildung. Er enthält 10 Zellen, dazu gehören 18 viereckige Fig. 8.
Platten, welche je 2 und 2 (eine Zink- und eine Kupferplatte) an den schmälern oben zweimal rechtwinklig gebogenen Metallstreifen angelöthet und durch diese Metallstreifen an einen, besonders an dieser Verbindungsstelle stark lackirten Querbalken angeschraubt sind, mittelst dessen sie sich alle, ohne ihre Lage zu verändern, auf einmal in ihre Zellen hineinsetzen und herausnehmen lassen. Die Endplatten hängen durch verlängerte Metallstreifen mit denen des daran stoſsenden Trogs zusammen, so daſs sie zu einer ganzen Batterie vereinigt werden können. Am Ende des Julius 1810 wurde diese Batterie zum erstenmal im *Royal Institution* in Wirksamkeit gesetzt und dadurch im luftleeren Raume Kohle verflüchtigt, Iridium und auch Thonerde an der Oberfläche geschmolzen. Eine wesentliche Verbesserung erhielten diese

1 G. XXXVII. 51.

Digitized by Google

Apparate durch Anwendung zweier Kupferplatten auf jede Zinkplatte. Diese Verbesserung wurde zuerst von Children bei seinem Riesenapparate angewandt. Er bemerkt[1], daſs, als er im Anfange bloſs eine gleich groſse Kupferplatte, wie die Zinkplatte, anwandte, der Erfolg seiner Erwartung gar nicht entsprach; als er aber jedes Plattenpaar noch mit einer zweiten Kupferplatte versah, so daſs zu jeder Zelle des Trogs eine Zinkplatte und zwei Kupferplatten gehörten und jeder der beiden Oberflächen einer Zinkplatte eine Kupferplatte gegenüberstand, welche Veränderung er dem Rathe des Dr. Wollaston zufolge gemacht hatte, die Wirksamkeit der Batterie nach einigen vergleichbaren Versuchen wenigstens verdoppelt wurde. Die Trogapparate, wie sie jetzt in England verfertigt werdn, sind nach dieser verbesserten Einrichtung. An die Stelle der hölzernen Tröge sind Tröge von Wedgwood'scher, wohl glasirter Masse getreten, welche in hölzernen Behältern stehen, aus welchen sie mit ihrer halben Höhe hervorragen. Sie enthalten gewöhnlich 10 Zellen, deren Höhe und Länge 5 Z. Par. und deren Breite (der Abstand einer Zwischenwand von der andern) 1,5 Zoll beträgt. Jede Zinkplatte hat 4 Zoll Seite, auf jeder Seite von der Kupferplatte umschlossen, welche aber nicht mit ihr sondern mit der Zinkplatte in der nächst daran stoſsenden Zelle zu einem Paare vereinigt ist.
Fig. 9. Die Zeichnung stellt die Einrichtung eines solchen Elements in senkrechtem Durchschnitte dar. CC ist die Zelle, in welche dasselbe eingesenkt ist, z die 2 Linien dicke Zinkplatte, an welcher oben in der Mitte ein schmaler rechtwinklig gebogener Ansatz z' sich befindet, der genau an den Fortsatz K'K' der Kupferplatte in der nächst darauf folgenden Zelle anschlieſst und durch eine Schraube an das Querholz LL, welches alle zu einem Troge gehörige Plattenpaare trägt, befestigt ist. Die Kupferplatte KK von mäſsig dickem Kupferblech umschlieſst auf beiden Seiten und unten das Zink, und ist, doch ohne unmittelbare Berührung, dadurch in eine feste Verbindung mit demselben gebracht, daſs dieselbe über 4 eingeschaltete halbcylindrische Holzstücke hh, h'h', wovon zwei oben und zwei unten am Rande der Zinkplatte sich befinden, übergeschlagen ist. Die Zinkplatte selbst ist mit einem kleinen

1 G. LII. 355.

Digitized by Google

Theile ihres obern und untern Randes in diese Hölzchen eingelassen. Diese Kupferplatte verlängert sich auf der einen Seite in ihrer Mitte in einen schmalen Streifen b, welcher rechtwinklig gebogen sich über den Anhang der Zinkplatte Z′ in der nächst daran stoſsenden Zelle endigt und damit in die genaueste metallische Berührung kommt. An der Zinkplatte in der letzten Zelle ist ein längerer Kupferstreifen angelöthet, um die metallische Verbindung mit der Kupferplatte zu unterhalten oder sonst als Leiter zu dienen.

DD. Kastenapparate.

Oersted[1] und Graf Stadion in Wien[2] haben diese Apparate angegeben. Sie bestehn aus schmalen, parallelepipedischen Trögen oder Kasten von Kupferblech. Die meinigen haben eine Höhe und Länge von 10″, sind aber nur einen halben Zoll breit. Man stellt dieselben auf ein isolirendes (überfirniſstes) hölzernes Gestell so mit ihren breiten Seiten neben einander, daſs sie einander nicht berühren, aber doch einander nahe genug stehn. An der einen Seite jedes Kastens ist am Ende des obern Randes auſsen ein einen bis anderthalb Zoll langer, an seinem Ende aufwärts gebogener Stab von Kupfer angelöthet, so daſs auf diese Weise alle Stäbe zusammen einer Kupferstange zur Unterlage dienen, um welche eine Zinkplatte von 9″ Seitenlänge mit ihrem obern Rande umgeschlagen wird und in den nächst angrenzenden Kasten hinabhängt, mit welchem sie in keine metallische Berührung kommen darf, was man am sichersten dadurch verhindert, daſs man ihren untern Rand in eine schmale überfirniſste Holzleiste einläſst, die auf beiden Seiten etwas übersteht. KK, K′K′ sind zwei solche auf einander folgende ku- Fig.
pferne Kasten in ihrem senkrechten Durchschnitte, a, a die am 10.
obern Ende auf beiden Seiten angelötheten, am Ende aufwärts gebogenen Kupferstäbe, wovon an jedem Kasten nur der eine sichtbar ist, b die auf ihnen ruhende kupferne Stange, welche von der Zinkplatte z, die in den nächstfolgenden Kasten hinabhängt, mit ihrem umgebogenen Rande umfaſst wird. Der erste Kupferkasten kk und die damit in metallischer Berüh-

1 Schweigger's Journ. XX. 213.
2 G. LV.

rung stehende Zinkplatte z stellen auf diese Weise ein Plattenpaar dar. Man kann die Verbindung der Zinkplatte mit dem Kupferkasten auch noch auf andere Weise erreichen. Eine solche Einrichtung nach Oersted stellt die Zeichnung
Fig. dar. Der kupferne Bügel DE hat bei E einen Einschnitt für
11. und die Zinkplatte, welche besonders abgebildet ist. Diese Platte
12. hat oben einen Kopf A, mit welchem sie auf dem Bügel aufruht. Der breite Theil der Zinkplatte BCDE hängt mittelst eines schmalen Halses an diesem Kopfe. Bei F, G und H sind kleine hölzerne Stifte angebracht, um die Berührung des Zinks mit dem Kupfer zu verhindern. Statt der parallelepipedischen Kasten nahm Oersted auch cylindrische, in welche concentrische hohle Cylinder von Zink von verhältniſsmäſsig kleinerem Durchmesser an einem starken Bügel, durch welchen sie mit dem vorangehenden Kasten verbunden sind, herunterhängen.

EE. Andere Volta'sche Apparate.

Man hat noch manche andre hydroelektrische Apparate in Vorschlag gebracht, welche einer der vier Hauptgattungen, die wir unterschieden, mehr oder weniger nahe kommen, und bei denen man theils gröſsere Bequemlichkeit, theils gröſsere Wirksamkeit, oder auch eine längere Dauer der Wirkung ohne merkliche Schwächung, endlich auch gröſsere Wohlfeilheit beabsichtigte. Dahin gehört Erdmann's sogenannter *Kapseln-Apparat*[1]. Er besteht aus viereckigen Zink- und Kupferplatten, mit stumpfen Ecken 14″ ins Gevierte. In jeder Zinkplatte ist an dem einen Rande eine kleine runde Rinne eingefeilt. Aus ganz dünner Pappe, nicht stärker als ein Kartenblatt, schnitt er sich dünne Rahmen aus, nur 1 Lin. breit. Diese wurden mit einer Auflösung von Mastix und Sandarac in Terpentinöl getränkt, sodann auf die Zinkplatte dergestalt gelegt, daſs die offene Seite des kleinen Papprahmens mit der Seite des Zinks zusammentraf, auf welcher sich die Rinne oder der Einguſs befand, die Kupferplatte darauf gelegt und mit der Zinkplatte so lange zusammengepreſst, bis der Lack in dem zwischenliegenden Rahmen trocken war. Auf diese Art entstand aus zwei heterogenen Metallplatten ein Behälter oder eine Kapsel,

1 G. XII. 458.

Digitized by Google

die zur Aufnahme einer sehr dünnen Schicht von Flüssigkeit geschickt war. Um derselben noch mehr Festigkeit zu geben und um dieselbe noch besser zu isoliren, überzog Erdmann die Ränder mit dem erwähnten mit Zinnober versetzten Oellack. Diese Metalkapseln wurden in einem Kasten in horizontaler Richtung so an einander gereiht, daſs die Kupferseite der einen Kapsel stets an die Zinkseite der andern zu liegen kam, und in solcher Lage, daſs die Rinne, durch welche der kleine innere Zwischenraum mit der Flüssigkeit gefüllt wurde, nach oben stand. Durch einen auf solche Weise construirten Apparat will Erdmann, was die Schläge und Funken betrifft, eine wenigstens noch einmal so starke Wirkung erhalten haben, als durch eine Volta'sche Säule von gleicher Gröſse der Platten und gleicher Zahl der Elemente.

Professor Hauff in Marburg[1] lieſs sich kleine Glaskugeln von 2½" Durchmesser blasen, mit einem Tubulus und Glasstöpsel versehn, und schliff dann von beiden Seiten der Kugel Segmente von gleicher Gröſse und einander parallel ab. An die eine Seite kittete er eine Kupferscheibe luftdicht an, an der andern wurde ein messingner Ring mittelst Schmirgel auf das Glas aufgerieben, und wenn er überall genau paſste, mittelst eines kalten Kitts, womit man die Röhren der Wasserleitungen an einander zu kitten pflegt, so auf das Glas befestigt, daſs er luft- und wasserdicht schloſs. Dieser messingne Ring war mit einer Mutterschraube versehn, in welche ein zweiter, an die Zinkplatte gelötheter und mit Schraubengängen versehener Messingring sich einschrauben lieſs. Statt der Glaskugeln wandte Hauff auch Glascylinder von 1 Zoll Höhe und 1,5 Zoll Weite an, an beiden Enden offen, an welche, wie an die Glaskugeln, die Zink- und Kupferplatten befestigt wurden. Diese einzelnen Elemente wurden in einem passenden Gestelle in horizontaler Richtung und in gehöriger Ordnung an einander gereiht, so daſs immer eine Zinkplatte mit der Kupferplatte des daran stoſsenden Glascylinders in Berührung kam. Zur Füllung wurde eine Salmiak-Auflösung gebraucht. Hauff schreibt seinem Apparate eine sehr groſse Wirksamkeit zu, die Monate lang ungeschwächt fortgedauert habe, wobei die Oxydation des Zinks nur ganz unbedeutend

1 G. XV. 77.

geweſen ſeyn ſoll. Wie wenig Vertrauen aber ſeine Angaben verdienen, erſieht man am beſten daraus, daſs er einen ſolchen Apparat dadurch in ſeiner Wirkſamkeit verdoppelt haben will, daſs er je zwiſchen zwei ſolche Glasbehälter zwei ganz trockene Metallplatten brachte, nach folgendem Schema: (Zink, feuchter Leiter, Kupfer,) Zink, Kupfer, (Zink, feuchter Leuter, Kupfer) Zink, Kupfer u. ſ. w., wo die durch das Zeichen ( ) verbundenen Glieder ein Continuum oder das urſprüngliche Element bildeten; daſs er ferner den Apparat auch dann wirkſam beobachtet haben will, wenn die mit keinem Tubulus verſehenen Cylinder, die vorher mit der Flüſſigkeit gefüllt worden waren, ehe die Zinkplatte aufgeſchraubt wurde, vollkommen dicht verſchloſſen waren und die in der Flüſſigkeit ſich entwickelnden Gaſe keinen Ausgang fanden.

Ritter brachte einen ſogenannten *Schüſſeln-Apparat* in Vorſchlag[1]. Dieſe Art von Säule beſteht aus einer Reihe in einem paſſenden Geſtelle über und in einander gehängter Kupferſchüſſeln, die ſo mit einer verdünnten Säure gefüllt ſind, daſs die Flüſſigkeit der einen Schüſſel ſtets die Bodenfläche der andern berührt, und wird dadurch in Thätigkeit geſetzt, daſs man in jede Schüſſel mehrere kleine Stückchen Zink wirft, die für jede Schüſſel 1 bis 1,5 Quadratzoll, auch noch weniger betragen, während die erregende Oberfläche jeder Schüſſel ſelbſt 30 bis 40 Quadratzoll beträgt. Ein ſolcher Schüſſelnapparat von 50 Abwechſelungen mit 40fach verdünnter Schwefelſäure ſoll an Mächtigkeit einer guten Salmiakſäule von 50 Lagen 30 quadratzolliger Platten nahe kommen, bei 30fach verdünnter Schwefelſäure ſie übertreffen und bei 15fach verdünnter noch unbeſtimmte Male ſtärker wirken, obgleich ihre Spannung beſtändig viel niedriger bleibt, als ſie bei gewöhnlichen Säulen gleicher Lagenzahl iſt.

Ganz neuerlich hat der Schotte Kemp einige ſinnreiche Säulenapparate angegeben, die ſich dadurch empfehlen, daſs ſie die Vortheile der gewöhnlichen Volta'ſchen Säulen mit denen der Zellen- und Trogapparate vereinigen. Ein ſolcher Apparat[2]
Fig. 13. beſteht aus runden hölzernen Schalen von 0,5 Zoll Tiefe und 3 Zoll Durchmeſſer ABCD mit einem überſpringenden Rande

---

1 Gehlen's Journ. d. Ph., Ch. u. Min. V. 303.
2 Das Laboratorium. XXII. Heft. Weimar 1830.

AB. EF iſt eine runde, an der untern Fläche convexe Zinkplatte, im Abſtande von $\frac{1}{8}$ Zoll durch einen Kupfer- oder Zinkdraht mit der Schale ſo verbunden, daſs das eine Ende durch den Boden der Schale durchdringt und inwendig $\frac{1}{8}$ *Zoll* vorſteht. Der ganze Verband wird dann durch einen Wachsüberzug waſſerdicht gemacht, wobei man jedoch darauf ſieht, daſs die vereinigende Drahtſpitze ganz frei von Wachs bleibt. Eine Quantität Queckſilber, gerade hinreichend, den Boden zu bedecken, wird alsdann in die Schale geſchüttet, welche durch den Draht mit der Zinkplatte EF in Verbindung ſteht. Auf das Queckſilber wird verdünnte Salzſäure aus einem Theile concentrirter Salzſäure und 10 Theilen Waſſer gegoſſen, ſo daſs die Schale beinahe dadurch gefüllt wird. Auf dieſe Weiſe hat man ein vollſtändiges Volta'ſches Element, welches aus Zink, Queckſilber und Säure beſteht. Indem man nun die Reihe fortſetzt, kann man ſie beliebig vermehren. Nachdem man das Queckſilber und die Säure eingetragen hat, ſetzt man ſie, um die Säule aufzubauen, über einander, wie aus der Zeichnung erſichtlich iſt. Die Zinkplatte der ei- Fig. 14.
nen Schale wird alsdann mit der Säure der unmittelbar unter ihr ſtehenden Schale in Verbindung ſeyn und die Schale ſelbſt ruht in einem kleinen Falz, welcher ringum am untern Theile des Randes angebracht iſt. Auf dieſe Weiſe kann man jede Zahl von Schalen über einander bauen und nöthigen Falls durch Glasſtäbe, welche in die Baſis eingefügt ſind, in ihrer gehörigen Lage erhalten. Dieſs iſt jedoch nur bei Schalen von kleinem Durchmeſſer nöthig, auch kann man mehrere kleine Säulen neben einander aufbauen und auf die bekannte Weiſe zu einer Säule mit einander verbinden. Bei der angegebenen Art des Aufbauens befindet ſich der negative Pol nach oben, der poſitive nach unten. Die Communication der *Pole* geſchieht durch knieförmige, meſſingene Röhren, die mit den Endplatten verbunden werden. Die Zinkplatten ſind darum an ihrer untern Fläche convex, damit das aus der Salzſäure ſich entwickelnde Waſſerſtoffgas ſich nicht an derſelben anſammele, ſondern immerfort entweiche.

Noch vortheilhafter fand Kemp eine Einrichtung, bei welcher der poſitive Erreger vielmehr flüſſig und der negative ſtarr war. Sie ſtimmt ganz mit der angegebenen überein, auſser daſs ſtatt der Zinkplatte an der untern Fläche der Scha-

Digitized by Google

len Kupferplatten angebracht sind und man in die Schalen ein Quecksilberamalgam gieſst, das man aus einem Theile Zink und vier bis fünf Theilen Quecksilber, die in einem Schmelztiegel bis nahe zum Siedpuncte des Quecksilbers erhitzt werden, bereitet und zu welchem man noch nach dem
Fig. Erkalten einen Theil Quecksilber hinzufügt. Die Zeichnung
15. und giebt eine Vorstellung dieser Schüsseln von oben herab be-
16. trachtet. E F ist eine runde Kupferplatte, mittelst eines kupfernen Drahtes, an welchen ein Schraubengang geschnitten ist, an die Schale befestigt. Der Draht läuft durch die Schale und schraubt sich in die messingne Nuſs I, welche inwendig in die Schale eingelassen ist. Der hölzerne Knopf bewirkt, daſs die Kupferplatte in ihrem gehörigen Abstande erhalten werde. In diesem Falle dauert die Wirkung so lange fort, als noch nicht alles Zink in der Salzsäure sich aufgelöst hat, wobei das Quecksilber selbst nicht angegriffen wird und stets wieder zur Bereitung von neuem Amalgam verwendet werden kann. Der positive Pol befindet sich in diesem Falle nach oben, der negative unterwärts. Damit das Wasserstoffgas entweichen könne, sind die Kupferplatten mit vielen Löchern durchbohrt. Eine Säule bloſs von 12 Schalen von 1½ Zoll Durchmesser, mit obiger Salzsäure in Thätigkeit gesetzt, war so wirksam, daſs bei der Schlieſsung der Kette mittelst eines Drahtes und einer Platte von Zink durch ein Silberblatt eine anhaltende Verbrennung erfolgte, und um so rascher, je gröſser die Oberfläche war, in welcher das Silberblatt mit der Zinkplatte in Berührung kam. Die elektromagnetischen Wirkungen einer solchen Säule fand Kemp so stark, als die einer Batterie von Zink und Kupfer von gleicher Anzahl von Elementen und 4 Zoll ins Gevierte. Ein besonderer Vorzug dieser Säule besteht darin, daſs sich auf der Oberfläche des positiven Erregers nie eine Schicht von Oxyd bildet, indem das Zink des Amalgams fortwährend aufgelöst wird, und die Oberfläche des Quecksilbers, mit welcher die Säure in Berührung steht, stets rein und glänzend bleibt. Auch dauert die Wirksamkeit der Säule so lange fort, bis alles Zink aufgelöst ist.

Digitized by Google

B. Gesetze, nach denen sich die Stärke des elektrischen Stroms der hydroelektrischen Säule und verwandter Apparate richtet, und Bestimmung des relativen Werthes und der eigenthümlichen Wirkungsweise der verschiedenen Apparate.

Wir haben bereits unter dem Artikel *Galvanismus* die allgemeinen Grundsätze entwickelt, nach denen der Einfluſs der Verschiedenheit der Umstände, die in der Construction einer hydroelektrischen (Volta'schen) Säule vorkommen, auf die Wirksamkeit derselben in Hervorbringung der Hauptclassen von Erscheinungen, die von derselben abhängen, zu beurtheilen ist. Wir haben besonders[1] Rechenschaft von dem Einflusse der verschiedenen Beschaffenheit des feuchten Leiters, der verschiedenen Gröſse der Berührungsfläche desselben mit den Metallplatten, der verschiedenen Beschaffenheit des Körpers, durch welchen die Schlieſsung der Kette geschieht und auf welchen die Wirkung der Säule gerichtet ist, nach den Grundsätzen der Volta'schen Theorie zu geben gesucht. Nach diesen allgemeinen Grundsätzen würde demnach die verschiedene Wirksamkeit der jetzt erst näher beschriebenen hydroelektrischen Apparate zu beurtheilen seyn. Ehe wir indeſs diese Anwendung machen, ist erforderlich, nach den in neuern Zeiten in dieser Lehre gemachten Fortschritten diese Grundsätze selbst noch genauer zu bestimmen, als es von uns geschehn ist. Diese Fortschritte verdanken wir besonders den scharfsinnigen Erörterungen Ohm's[2] und den genauen Messungsversuchen Fechner's[3].

Wir können es als vollkommen bewiesen annehmen, daſs

---

1 Bd. IV. §. 99. S. 948.

2 Sie finden sich im Zusammenhange dargestellt in seiner Schrift: Die galvanische Kette mathematisch betrachtet. Berlin 1821. und in verschiedenen Abhandlungen in Schweigger's Journale. XLIV. 1 — 241. 308. XLVI. 137. XLIX. 1. LV. 1. Poggendorff's Annalen IV. 79. VI. 459. VII. 45. Kastner's Archiv XIV. 475. XVI. 1.

3 Maſsbestimmungen über die galvanische Kette. Von Gustav Fechner. Leipzig 1831.

Digitized by Google

alle Wirkungen der Volta'schen Säule vom dem elektrischen Strome abhängen, der durch dieselbe in Bewegung gesetzt wird und welcher, so lange sie geschlossen ist, durch sie selbst und den die Kette schlieſsenden Bogen sich bewegt. Es kommt nun alles darauf an, ein genaues Maſs für die Stärke des elektrischen Stromes zu haben, um so den Zusammenhang der Verschiedenheit der Umstände, welche in der Construction der Säule möglicher Weise gegeben sind, mit der Abänderung in dieser Stärke selbst richtig würdigen zu können. Ein solches Maſs bieten die verschiedenen Wirkungen dar, die von diesem Strome abhängen und die nach Verschiedenheit seiner Stärke selbst dem Grade nach verschieden ausfallen. Diese Wirkungen sind die *chemische*, die *physiologische*, die *Wärmeerscheinungen* und die *magnetischen*. Die drei ersteren sind aber theils von so veränderlichen nicht immer genau bestimmbaren mitwirkenden Umständen abhängig, theils in ihrer Anwendbarkeit so beschränkt, daſs man sie nicht wohl zu einem solchen Maſse gebrauchen kann, und um so weniger, da es wenigstens für die Gröſse der physiologischen und selbst der chemischen keinen ganz genauen Maſsstab giebt. Dagegen vereinigen die *elektromagnetischen* Wirkungen, auf gehörige Weise angewandt, alle Bedingungen hierzu in sich, nämlich Vergleichbarkeit, Empfindlichkeit, Schärfe und weit reichenden Umfang der Anzeigen. Es könnte gegen die Anwendung derselben als Maſsstab für die Stärke des elektrischen Stromes der Einwurf erhoben werden[1], ob auch Gesetze, die mittelst elektromagnetischer Apparate für die Säule sich ergeben haben, eine Uebertragung auf andere Wirkungen als eben elektromagnetische erlauben. Es setzt nämlich dieses voraus, daſs die Kraft des Stromes eine einzige und identische sey, die nur nach der Beschaffenheit der Körper, auf die sie wirkt, verschiedenartige Wirkungen hervorbringt, wogegen denkbar wäre, daſs dem Strome Kräfte zukommen, die ihrem Wesen nach verschieden sind, mithin auch durch verschiedene Einflüsse in verschiedenem Grade verstärkt oder geschwächt werden können, wo dann jede dieser Wirkungen nur durch sich selbst gemessen werden könnte. Wirklich haben früher auch einige Physiker

1 Fechner a. a. O. S. 6.

einer solchen Annahme Gehör gegeben, und namentlich hat Ritter durch das in so manchen Stücken abweichende Verhalten der groſsplattigen Säulen, verglichen mit den kleinplattigen, in Rücksicht auf die Stärke der von ihnen abhängigen *Schläge* in Vergleichung mit der Wärmeerzeugung (Glühen von Metalldrähten) und den chemischen Zersetzungen, worüber noch unter dem Artikel der *secundären Säule* einige Beobachtungen Ritter's mitgetheilt werden sollen, verleitet angenommen, daſs die physiologischen Wirkungen von andern Umständen abhängen, als die übrigen. Hierzu kommen die von uns unter dem Artikel *Galvanismus* angeführten Versuche De la Rive's[1], welche diesem Physiker es nicht unwahrscheinlich machten, daſs der elektrische Strom gleichsam aus zwei Factoren bestehe, welche in ihren Leitungsverhältnissen sich verschieden verhalten, und von welchen dann auch vorausgesetzt werden könnte, daſs sie selbst nach Verschiedenheit der Umstände in einem verschiedenen quantitativen Verhältnisse gegen einander stehn und auf eine verschiedene Weise an den Wirkungen der Volta'schen Säule Antheil haben könnten, und in dem Verfolge unserer weitern Erörterung wird das Resultat immer deutlicher hervortreten, daſs der elektrische Strom die identische Ursache für die verschiedenen Wirkungen sey, die von der Volta'schen Säule abhängen, und daſs diese in dem Verhältnisse seiner Stärke gleichmäſsig wachsen.

Es läſst sich die Stärke des elektrischen Stroms vermittelst seiner elektromagnetischen Wirkungen auf verschiedene Weise messen und in genauen Maſsbestimmungen vergleichen, einmal durch die Gröſse der Ablenkung einer Magnetnadel aus ihrer normalen Lage, dann durch den Widerstand der Torsion, welche eine an einer Coulomb'schen Torsionswaage aufgehängte Magnetnadel bei ihrer Ablenkung überwindet oder mit dem sie ins Gleichgewicht getreten ist, am bequemsten aber durch die Zahl des Oscillationen, welche in einer gegebenen Zeit eine durch die gleichzeitige Wirkung des elektrischen Stromes und durch den Erdmagnetismus in ihrer normalen Lage erhaltene und aus dieser abgelenkte Nadel macht, um in ihre vorige Lage zurückzukehren. Letztere Methode

---

1 §. 102. S. 966.

Digitized by Google

läſst die gröſste Schärfe zu und ist das empfindlichste Reagens, um auch die kleinste Modification in der Stärke des elektrischen Stromes noch anzuzeigen. Die Anwendung dieser letztern Methode beruht auf folgendem Principe. Wird eine horizontale frei aufgehangene Magnetnadel, die sich in der Richtung des magnetischen Meridians befindet, daraus auf irgend eine Weise abgelenkt und dann der Wirkung der Kräfte, die sie in ihre Richtung zurückzuführen streben, wieder überlassen, so kehrt sie der Erfahrung zufolge durch eine Reihe von Oscillationen zurück. Die Kraft, welche die Nadel in die Lage des Gleichgewichts zurückzuführen strebt, ist proportional dem Quadrate der Anzahl von Oscillationen, welche von derselben Nadel in derselben Zeit vollbracht werden, oder, was dasselbe ist, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeittheile, welche zur Vollbringung einer gleichen Anzahl von Schwingungen erforderlich sind. Um nach diesem Principe jenen Maſsstab zur Bestimmung der Stärke des elektrischen Stromes anzuwenden, lasse man die im Multiplicator hängende Magnetnadel, nachdem man den Multiplicator so gestellt hat, daſs der durch die Windungen desselben gehende elektrische Strom der Nadel keine Ablenkung von ihrer normalen Lage beizubringen vermag, sondern vielmehr bestrebt ist, sie in dieser Lage zu erhalten, erst allein durch den Einfluſs der magnetischen Erdkraft oscilliren, zu welchem Zwekke man die Nadel durch ein Eisen- oder schwaches Magnetstäbchen aus ihrer Richtung abgelenkt hat und dann schnell dasselbe entfernt, und zähle nach dem Schlage einer guten Pendeluhr oder nach einer guten Secundenuhr mit stehenden Secunden die Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, eine gewisse Anzahl von Oscillationen zu vollbringen, indem man sich innerhalb der Grenzen von so kleinen Elongationen der Schwingungen hält, als sich mit einem merklichen Isochronismus derselben noch verträgt. Durch diese erste Zählung erhält man das Maſs der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Hiernächst läſst man den mit der Schlieſsung der Kette eintretenden elektrischen Strom durch die Windungen des Multiplicators gehn und zählt wie vorhin die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel gebraucht, um unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und der Kraft des elektrischen Stromes dieselbe Anzahl von Schwingungen zu

Digitized by Google

vollbringen, als vorher unter dem Einflusse der Erde allein. Auf diese Weise wird man das Maſs für die Summe der Kräfte erhalten, mit welcher die Erde und mit welcher der Strom auf die Nadel wirken, und zieht man von dieser Summe die durch den vorhergegangenen Versuch gefundene Kraft der Erde ab, so erhält man dadurch das Maſs der Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt. Erfordert z. B. die Nadel zu 20 Oscillationen unter dem Einflusse der Erdkraft 100 Zeittheile, so ist das Maſs der Erdkraft $\frac{1}{10000}$ oder 0,0001, weil 10000 das Quadrat von 100 ist und die Kraft sich diesem Quadrate umgekehrt proportional verhält. Gesetzt die Nadel erforderte unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des elektrischen Stromes nur 50 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so wird das Maſs für die Summe beider Kräfte seyn $\frac{1}{2500}$ oder 0,0004; wenn man mithin das erstere Maſs von dem letztgefundenen abzieht, so erhält man für das Maſs der Kraft des Stroms allein $\frac{1}{2500}$ — $\frac{1}{10000}$ oder 0,0004 — 0,0001, also 0,0003. Mithin verhält sich die Kraft, mit welcher der elektrische Strom allein auf die Nadel wirkt, zur Erdkraft = 3 : 1. Gesetzt die Nadel gebrauche nun unter dem Einflusse eines andern Stromes 30 Zeittheile zu 20 Oscillationen, so ist das Maſs für die Kraft des Stromes allein $\frac{1}{900}$ — $\frac{1}{10000}$, d. i. 0,00101, mithin verhält sich die Kraft des zweiten Stromes zu der des ersteren wie 10,1 : 3. Zweckmäſsig ist es, in jedem Falle die Kraft der Erde als Einheit zum Grunde zu legen und hiermit dann alle verschiedene Stromkräfte zu vergleichen, welches durch Anwendung der nachfolgenden Formel sehr erleichtert wird.

Die Anzahl der Zeittheile, welche die Nadel zur Vollbringung einer gewissen Anzahl Schwingungen unter dem bloſsen Einflusse des Erdmagnetismus erfordert, heiſse N, die Zahl der Zeittheile, die sie unter dem vereinigten Einflusse der Erdkraft und des Stromes gebraucht, heiſse N', dann ist das Maſs der Kraft des Stromes

$$\frac{1}{N'^2} - \frac{1}{N^2} = \frac{N^2 - N'^2}{N^2 \times N'^2},$$

oder, wenn man die Kraft der Erde als Einheit setzt,

$$= \frac{N^2 - N'^2}{N'^2}.$$

Digitized by Google

Wendet man statt einer einfachen Nadel eine vollkommen astatische Doppelnadel an, und wird sie so gestellt, daſs der Einfluſs des Stroms sie in derselben zu erhalten strebt, so giebt das umgekehrte Verhältniſs des Quadrats der Anzahl der Zeittheile, in welcher eine gleiche Anzahl von Schwingungen unter dem Einflusse verschiedener elektrischer Ströme vollbracht wird, unmittelbar das Maſs der Stärke dieser elektrischen Ströme.

Wenn man die Abänderungen in der Stärke des elektrischen Stromes, wie sie von den Abänderungen der hydrogalvanischen Apparate abhängen und wie sie sich durch das eben angegebene Maſs am genauesten bestimmen lassen, in richtigen Zusammenhang mit den Abänderungen in den Erscheinungen bringen will, welche in allen Gliedern, die in den Kreis der geschlossenen Kette eintreten, vorkommen und welche besonders in demjenigen Gliede auftreten, das die beiden Pole einer vorher offenen Volta'schen Säule mit einander verbindet und die Kette, wie man sagt, schlieſst, so müssen folgende zwei Gesetze als Leitsterne dienen, durch welche eine Menge scheinbarer Anomalieen in Einklang mit einander kommen und manche Miſsverständnisse und falsche Erklärungen beseitigt werden.

1) Wenn die Wirksamkeit irgend eines Theiles der Säule (und überhaupt einer galvanischen Kette) zunimmt oder abnimmt, dadurch daſs man die elektromotorische Kraft oder das Leitungsvermögen an irgend einer Stelle vermehrt oder vermindert, so nimmt die Wirksamkeit aller übrigen Theile der geschlossenen Säule in einem entsprechenden Grade zu oder ab, oder mit andern Worten: die Verstärkung oder Schwächung des elektrischen Stromes, die durch Abänderung des Leitungsvermögens in irgend einer Stelle der geschlossenen Säule veranlaſst wird, erstreckt sich gleichmäſsig auf alle Theile der Säule.

Man überzeugt sich von der Wahrheit dieses Gesetzes im Allgemeinen leicht dadurch, daſs man an verschiedenen Stellen in die Säule Multiplicatoren mit dazu gehörenden Magnetnadeln oder Gasentbindungsröhren aufnimmt. Man wird dann finden, daſs jede an irgend einer Stelle geschehene Abänderung eine gleiche Zu- oder Abnahme der Wirkung, insofern sie durch Oscillationen der Magnetnadel in den verschiedenen Multiplicatoren oder durch die Stärke der Gasentbindung in

den verschiedenen Gasröhren erkennbar und meſsbar ist, in diesen verschiedenen Apparaten zur Folge hat.

2) Das zweite Gesetz läſst sich so ausdrücken: Die Gesammtquantität von Elektricität, welche durch jeden Querschnitt der Säule, der senkrecht durch die Richtung des Stromes geht, in derselben Zeit hindurch strömt, ist in der ganzen Länge der Säule gleich groſs und unabhängig von der besondern relativen Beschaffenheit oder Gröſse jedes Querschnittes.

Dieses Gesetz ist eine nothwendige Folge des Begriffes eines in sich zurückkehrenden Stromes und bestätigt sich unmittelbar durch die Erfahrung, daſs abgesehn von der der Schlieſsung der Kette zunächst angehörigen Wirkung, welche für den ersten Augenblick allerdings ein gewisses Maximum zeigt, die fortdauernde Wirkung, sey es Gasentwickelung in der Gasentbindungsröhre, oder Ablenkung der Magnetnadel, oder Zahl der Oscillationen der Magnetnadel in einer gegebenen gleichen Zeit, oder Glühen von Metalldrähten, so lange die Säule in sich selbst keine merkliche Veränderung erlitten hat, was freilich, in der gröſsten Strenge genommen, für keine in Wirksamkeit gesetzte Säule auch nur für eine sehr kurze Zeit gültig ist, ihrer Gröſse nach unverändert bleibt.

3) Das dritte Gesetz, welches ein unmittelbares Corollarium des zweiten ist, kann so ausgedrückt werden:

In jeder Volta'schen Säule, in welcher in Folge der Schlieſsung ein fortdauernder elektrischer Strom eingeleitet ist, verhalten sich die Intensitäten des Stromes in jedem Theile der geschlossenen Säule umgekehrt wie die Querschnitte dieser Theile senkrecht auf die Richtung des Stromes genommen.

Diese verschiedene Intensität bei gleicher Quantität ist es vorzüglich, welche bei Beurtheilung mancher Wirkungen in Betracht kommt, namentlich der Wärmeerzeugung, wie wir bei dem Phänomene des Metallglühens noch näher auseinander setzen werden. Diese *Intensität* des *Stromes* darf jedoch nicht mit der *Intensität* der *Elektricität* in der noch ungeschlossenen Säule, d. h. mit der *polaren Spannung* verwechselt werden, letztere hängt von der Menge der freien, ungebundenen und nicht mit ihrem Gegensatze im Acte der Ausgleichung begriffenen Elektricität ab und ihr Maſs ist die Repulsivkraft, welche die Theilchen derselben auf sich selbst

ausüben, die durch das Elektrometer gemessen wird, dagegen beruht die Intensität des Stromes auf der Quantität der entgegengesetzten Elektricitäten, die sich in jedem Augenblicke in einem kleinsten Theile des Raumes oder an einem kleinsten Theile eines Körpers mit einander ausgleichen und eben in dieser Ausgleichung ihre elektrometrische Aeuſserung verlieren. Die mit dem Quantum dieser Ausgleichung gleichen Schritt haltenden Wirkungen, magnetische und Wärmeerregung, geben hier das Maſs. Nur derjenige Ueberschuſs von Elektricität, der wegen zu groſsen Widerstandes des Leiters am Strömen verhindert wird, kann noch als freie Elektricität, die durch das Elektrometer erkennbar ist, auftreten, und je gröſser dieser Ueberschuſs, d. h. je gröſser die Intensität (Spannung) der gleichsam ruhenden Elektricität ist, um so geringer ist die Intensität des Stromes und die Intensität aller derjenigen Wirkungen, die von dem Strome als solchem oder von dem Quanto der entgegengesetzten Elektricitäten, die sich in jedem Augenblicke in einem kleinsten Theilchen des Raumes ausgleichen, abhängen. Wollte man den elektrischen Strom mit dem Strome einer gewöhnlichen nicht zusammendrückbaren Flüssigkeit vergleichen, so würde die Intensität des elektr. Stromes durch die Geschwindigkeit auszudrücken seyn, welche derselbe in jedem kleinsten Theilchen des Raums hat, wonach sich eben die Menge der Theilchen richtet, die in einer gegebenen Zeit durch einen kleinsten Theil des Raumes hindurchgehn, und welche im umgekehrten Verhältnisse der Gröſse des auf die Richtung des Stromes senkrechten Durchschnittes steht. Insofern jedoch die Elektricität als eine elastische und verdichtbare Flüssigkeit anzusehn ist, so würde diese Intensität vielmehr im Verhältnisse der Dichtigkeit der sich in jedem kleinsten Raumestheile ausgleichenden Elektricitäten stehn. Hält man sich jedoch zunächst nur an die von dem elektr. Strome abhängigen Wirkungen, so kann man die Gröſse oder *Quantität* desselben als die *Gesammtkraft* erklären, mit welcher ein Durchschnitt der geschlossenen Kette wirkt, die *Intensität* aber als die *relative* Kraft, mit welcher jeder einzelne Theil des Durchschnittes wirkt.

Wendet man einen der Maſsstäbe für die Stärke des elektrischen Stromes an, wozu sich der von der Zahl der Oscillationen der Magnetnadel hergenommene am besten eignet,

Digitized by Google

so überzeugt man sich bald, daſs es immer nur zwei Momente sind, welche auf diese Stärke ihren Einfluſs äuſsern und mit deren Abänderungen die Abänderungen desselben gesetzmäſsig verknüpft sind, einerseits die elektromotorische Kraft, als die nächste oder wirkende Ursache des elektrischen Stromes, und das Leitungsvermögen der Glieder, welche in den Kreis der geschlossenen Säule eingehn, als die bedingende oder vermittelnde Ursache. Die elektromotorische Kraft hängt, wie schon früher (unter dem Artikel *Galvanismus*) erörtert worden ist, einmal von der besondern elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements oder von dem elektrischen Spannungsunterschiede ab, welchen bei der gewöhnlichen Art der Construction der hydroelektrischen Säule aus zwei heterogenen Metallen und einem feuchten Leiter die Berührungsflächen zwischen dem feuchten Leiter und den heterogenen Metallen, wenn sie zur Kette geschlossen gedacht werden, zeigen, und dann von der Summe aller elektromotorischen Kräfte der einzelnen Elemente, die zur Säule vereinigt sind. Diese Summe wächst, wie die Versuche über die elektroskopischen Erscheinungen der Säule gelehrt haben, im geraden arithmetischen Verhältnisse der Zahl der gleichartigen Elemente, die zur Säule mit einander vereinigt sind; die elektromotorische Gesammtkraft ist also bei allen gleichartig gebauten Säulen stets das Product aus der elektromotorischen Kraft des einzelnen Elements in die Zahl der Elemente und ihr Maſs ist die freie elektrische Spannung der Pole der ungeschlossenen Säule. Den Einfluſs des zweiten Moments des Leitungsvermögens sämmtlicher Glieder, welche in den geschlossenen Kreis der Säule eingehn, betreffend kann man diesen Einfluſs als einen Widerstand betrachten, der um so geringer ausfällt, je gröſser das Leitungsvermögen dieser Glieder ist. Jeder Versuch, am genauesten mit der Magnetnadel mit Hülfe des Multiplicators, belehrt uns nämlich, daſs die Einschiebung irgend eines neuen Leiters, sey er auch von der vollkommensten Art, in den Kreis der Säule, so zwar, daſs dadurch die Säule selbst verlängert, aber nicht etwa an der Stelle der Einschiebung erweitert wird, keine Verstärkung, sondern vielmehr in allen Fällen eine Schwächung des Stromes zur Folge hat. Auch ist unter dem Artikel *Leiter der Elektricität* näher nachgewiesen worden, daſs auch die vollkommensten Leiter doch noch einigen Widerstand der

Digitized by Google

Elemente entgegensetzen. Es gewährt auch eine viel bessere Uebersicht aller Erscheinungen, wenn man das Leitungsvermögen als Leitungswiderstand in Rechnung bringt, der dann jedesmal im umgekehrten Verhältnisse dieses Leitungsvermögens selbst steht.

Dieser Leitungswiderstand, um in seinen Folgen richtig gewürdigt zu werden, darf nie bloſs in einem einzelnen Gliede, sondern er muſs in der Gesammtheit aller Glieder aufgefaſst werden. Man kann in dieser Hinsicht für die gewöhnliche Art, die Versuche anzustellen, den Leitungswiderstand in der Säule selbst von dem Leitungswiderstande in dem schlieſsenden Bogen, auf welchen eigentlich die Wirkung der Säule zunächst hingerichtet ist, unterscheiden. Demnächst ist, was die verschiedene Natur der Glieder der Säule betrifft, der Widerstand in den festen und flüssigen Theilen besonders in Betracht zu ziehn und auſserdem noch der Widerstand, welcher bei dem Uebergange von festen zu flüssigen und von flüssigen zu festen Körpern statt findet, da diese kein Continuum, sondern nur ein Contiguum bilden. In der Lehre von dem Leitungsvermögen der Körper für Elektricität ist sowohl für die festen als flüssigen Leiter streng nachgewiesen worden, daſs der *Leitungswiderstand* derselben wächst mit ihrer Ausdehnung in die Länge oder im geraden Verhältnisse mit derselben, daſs er abnimmt mit Zunahme des Durchschnitts derselben oder im umgekehrten Verhältnisse mit demselben steht. In der Volta'schen Säule kommt dieser Durchschnitt auf eine doppelte Weise bei den flüssigen Leitern in Betracht, nämlich in ihrer Berührungsfläche mit den festen Leitern und dann in ihnen selbst. In Rücksicht auf den erstern Umstand hat man die Oberfläche der Metalle, die als die eigentlichen Elektromotoren in Betracht kommen, so weit sie mit dem flüssigen Leiter in Berührungsconflict kommt, die *erregende Oberfläche* genannt, und in Betreff der erregenden Oberfläche würde demnach der Leitungswiderstand abnehmend seyn mit der Vergröſserung dieser erregenden Oberfläche oder die Stärke des elektrischen Stromes unter sonst gleichen Umständen als wachsend mit der Gröſse der erregenden Oberfläche zu betrachten seyn. Diese Verhältnisse gelten für alle flüssige und feste Leiter auf gleiche Weise. Dann kommt aber noch die besondere von der Qualität und Temperatur der

Digitized by Google

Körper abhängige Leitungsfähigkeit in Betracht, die bei den ungeheuren gradativen Verschiedenheiten, die in dieser Hinsicht statt finden, einen noch viel gröſsern Einfluſs äuſsert, als die gewöhnlich bei Volta'schen Säulen vorkommenden Abänderungen in dem Durchschnitte und in der Längenausdehnung der Leiter, in welcher Hinsicht der Artikel *Leiter* zu vergleichen ist, wo auch der Einfluſs der Temperatur auf das Leitungsvermögen näher angegeben wurde.

Noch kommt aber bei Berechnung des Leitungswiderstandes der Widerstand der Elektricität beim Uebergange von einem Gliede der Säule in das andere ganz vorzüglich in Betrachtung. Wir haben mehrere der hierauf bezüglichen Erscheinungen bereits unter dem Artikel *Galvanismus* mitgetheilt[1]. Viele Erscheinungen setzen es auſser allen Zweifel, daſs die Elektricität bei ihrem Uebergange von einem Körper in den andern, besonders aber beim Uebergange von starren in flüssige, einen bedeutenden Widerstand findet. Wenn die Continuität eines flüssigen durch Interpolation von starren Leitern, die an und für sich betrachtet ohne Vergleich viel bessere Leiter, als dieser selbst, sind, unterbrochen wird, so wird die Stärke des elektrischen Stroms auffallend geschwächt, und um so mehr, je häufiger diese Interpolation sich wiederholt. Es zeigen sich aber hierbei noch besondere Gesetze, welche für die Beurtheilung der Thätigkeitsgröſse der verschiedenen Volta'schen Apparate von Wichtigkeit sind. Diese Versuche haben nämlich bewiesen, daſs dieser Uebergang bei sonst gleichen Umständen um so schwieriger ist und also der elektrische Strom um so mehr dadurch geschwächt wird, je näher der starre metallische Leiter in der galvanischen Spannungsreihe dem negativen Ende steht und je weniger der starre Leiter mit der Flüssigkeit einen chemischen Conflict eingeht. Diese Verschiedenheit kann bis auf einen hohen Grad durch Vergröſserung der Berührungsfläche des negativen und chemisch nicht oder nur schwach erregbaren starren Leiters mit dem flüssigen verhältniſsmäſsig vergröſsert werden. Es kommt aber dabei noch ein höchst merkwürdiges Verhältniſs in Betracht, in welchem der Schlüssel zur richtigen Erklärung der

---

1 Vgl. §. 36. S. 667. §. 40. S. 678. Vorzüglich §. 62. S. 812. §. 90. S. 916. §. 102. S. 972.

Digitized by Google

Verstärkung des elektr. Stroms durch Vervielfältigung der Elemente in der Säule zu liegen scheint. Gerade so wie nach De la Roche's und Prevost's Versuchen die Wärme beim Uebergange aus einem durchsichtigen Medium (Luft) in ein anderes (Glas) und Fortgange durch dasselbe a) in dem Verhältnisse weniger Schwächung erleidet, in welchem ihre ursprüngliche Spannung gröſser ist, b) bei wiederholtem Uebergange und Durchgange die Schwächung immer geringer ist, gerade ebenso erleidet nach De la Rive's Versuchen[1] a) der elektr. Strom um so weniger Schwächung, je gröſser die ursprüngliche Spannung der Elektricität ist, die in Bewegung gesetzt wird, d. h. aus je mehr Elementen die Säule besteht, b) und um so weniger Schwächung, je öfter schon dieser Uebergang und Durchgang statt gefunden hat.

Es ist aber noch eine bemerkenswerthe Thatsache, daſs alle vorbenannte Umstände, von welchen der Leitungswiderstand in der galvanischen Kette überhaupt und insbesondere in der Volta'schen Säule abhängt, keineswegs unter allen Verhältnissen in gleichem Maſse zur Schwächung des Stroms wirken. So kann derselbe Zwischendraht, wenn er in die eine Kette eingebracht wird, die Wirksamkeit um ein Vielfaches schwächen, während er in eine andere Kette gebracht keine auch durch die empfindlichste Magnetnadel wahrnehmbare Schwächung hervorbringt. Es giebt jedoch einen ganz allgemeinen Gesichtspunct, unter welchem sich alle diese verschiedenen Fälle vereinigen lassen, einen Gesichtspunct, auf welchen zuerst Ohm hingewiesen hat und der sich auf das Durchgreifendste in der Erfahrung bestätigt. Dieser Gesichtspunct läſst sich in folgendem Gesetze aussprechen.

a) Der Leitungswiderstand irgend eines Theils der geschlossenen Kette überhaupt und also der geschlossenen Säule insbesondere verliert um so mehr an Einfluſs zur Schwächung der Wirksamkeit, je kleiner er im Verhältnisse zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist oder je mehr er dagegen verschwindet.

b) Umgekehrt trägt Verminderung des Leitungswiderstandes irgend eines Theils der Kette und Säule oder, was dasselbe ist, Erhöhung seines Leitungsvermögens in einem be-

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 967 ff.

Digitized by Google

stimmten Verhältnisse um so mehr zur Verstärkung der Kraft der Kette überhaupt und der Säule insbesondere bei, je gröſser dieser Leitungswiderstand im Verhältnisse zum Leitungswiderstande der übrigen Theile der Kette oder Säule ist.

Wenn man zugleich auf den eigentlichen positiven Factor in der Hervorbringung und Unterhaltung des elektrischen Stroms, nämlich die elektromotorische Kraft, Rücksicht nimmt, so ergiebt sich für die Stärke des Stroms unter allen Umständen und unter Berücksichtigung aller Bedingungen, die darauf influiren, der ganz allgemeine Ausdruck: die Kraft der geschlossenen Volta'schen Säule oder, was einerlei ist, die Stärke ihres elektrischen Stroms ist der gesammten elektromotorischen Kraft, die in ihr wirksam ist, direct, dem Leitungswiderstande aller ihrer Theile zusammengenommen aber umgekehrt proportional oder wird dargestellt durch den Quotienten der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand aller Theile und läſst sich also, wenn man K die Kraft des Stroms, A die in der Säule wirksame elektromotorische Gesammtkraft und L den Gesammtleitungswiderstand aller Theile nennt, durch die Formel $K = \frac{A}{L}$ ausdrücken, eine Formel, die mannigfaltige Entwickelungen zuläſst, wie in der Folge sich noch aus einzelnen Beispielen ergeben wird.

Was nun den relativen Werth der von uns unter der ersten Rubrik beschriebenen Volta'schen Apparate betrifft, so kommt in dieser Hinsicht nicht bloſs die nach den hier eben aufgestellten Grundsätzen zu bestimmende Stärke ihrer Wirksamkeit in Betracht, sondern es müssen auch noch andere Verhältnisse der Bequemlichkeit, Wohlfeilheit u. s. w. mit berücksichtigt werden. Die gröſsten Wirkungen hat man unstreitig durch die Zellen- und Trogapparate hervorgebracht. Sie haben vor den gewöhnlichen Volta'schen Säulen den entschiedenen Vorzug, daſs der Leitungswiderstand in dem feuchten Leiter bei ihnen weit mehr vermindert und also durch Verminderung des L in der Formel $K = \frac{A}{L}$ der Werth von K bei gleichbleibendem A weit mehr erhöht werden kann. In allen gewöhnlichen Volta'schen Säulen tritt in der feuchten Pappe oder Tuchscheibe neben der leitenden Flüssigkeit stets

ein sehr isolirendes Element, nämlich die Leinwand, Baumwollen- oder Wollenfaser mit in den Kreis, und bei gleicher scheinbarer Berührungsfläche zwischen den Metallen und den feuchten Leitern, wie in den Zellen- oder Trogapparaten von gleicher Oberfläche, ist doch die wahre Berührungsfläche mit dem flüssigen Leiter viel kleiner. Dabei haben die verticalen Volta'schen Säulen den groſsen Nachtheil, daſs sich leicht eine Schicht Wasserstoffgas unter den Kupferplatten ansammeln kann, die, wenn sie auch nur eine Dicke von 0,01 Linie haben sollte, den Durchgang des Stroms gänzlich zu unterbrechen und, wenn sie auch nicht die ganze Oberfläche der Kupferplatte einnimmt, doch denselben auffallend zu schwächen vermag, daher das oft sprungweise statt findende Zunehmen der Wirkung einer Volta'schen Säule, wenn etwa das Gas, sobald es bis auf einen gewissen Grad sich angesammelt hat, seitwärts entweicht. Ein anderer Nachtheil, den die gewöhnliche Volta'sche Säule darbietet, ist die sich fixirende Trennung des Laugensalzes und der Säure bei Anwendung von Salzen, namentlich von Kochsalz, Salmiak u. dgl., wovon sich das erstere an der Oberfläche der Kupferplatte, die letztere am Zinke ansammeln und durch eine davon abhängige, in entgegengesetzter Richtung wirkende, elektromotorische Thätigkeit, indem das Laugensalz mit dem Kupfer eine positive, die Säure mit dem Zinke eine negative Spannung eingehn, den Strom schwächen. Diese Trennung kann man in den Trog- und Zellenapparaten durch Umrühren der Flüssigkeit stets wieder aufheben. Auch wird eine Fixirung der dem Strome so sehr hinderlichen Oxydschicht an der Oberfläche des Zinks weniger leicht in diesen letztern Apparaten eintreten, weil eine freiere Bewegung aller Theilchen in der reinen Flüssigkeit als in der durch die Papp- oder Tuchscheibe gleichsam fixirten Flüssigkeit statt findet. Auch stehn die gewöhnlichen Volta'schen Säulen in denjenigen Fällen den Trog- und Zellenapparaten nach, wo man sehr rasch einen kräftigen elektrischen Strom in Bewegung setzen will, z. B. zur Wiederbelebung in Fällen von Scheintod, indem man bei angemessenen Vorrichtungen einen mächtigen Trog- oder Zellenapparat viel schneller in Wirksamkeit setzen kann, als eine Volta'sche Säule von gleicher Wirksamkeit, deren Aufbauen immer etwas umständlich ist. Dagegen bieten die gewöhnlichen Säulen den groſsen

Digitized by Google

Vortheil dar, daſs man ſie in jeder beliebigen Anzahl von Plattenpaaren mit der gröſsten Bequemlichkeit in Anwendung bringen, nach Belieben dieſelben Metallplatten zu groſsplattigen Säulen von wenigen Abwechſelungen oder zu kleinplattigen von vielen Abwechſelungen verwenden kann. Die Reinigung der Platten bei einer gewöhnlichen Volta'ſchen Säule kann auch viel vollkommener und leichter geſchehn, als bei jedem andern galvaniſchen Apparate.

Was das Verhältniſs der Trog- zu den Zellenapparaten betrifft, ſo finde ich nach meinen Verſuchen bei gleicher Metalloberfläche und Zahl der Plattenpaare die Zellenapparate aus Trögen von Mahagoniholz, innerlich mit einem Kitte aus Harz und Wachs ausgegoſſen, wirkſamer als die gewöhnlichen Trogapparate mit Trögen von Steingut, wie ſie aus England kommen. Es ſcheint die Maſſe des Steinguts offenbar als ein Halbleiter zu wirken und um ſo mehr partielle Ausgleichung herbeizuführen und dem Polarſtrome zu entziehen, je gröſser die Oberfläche iſt, mit welcher die Wandung mit der Flüſſigkeit in Berührung kommt. Auch Schweigger[1] bemerkt, daſs die Porzellantröge nicht das leiſten, wes man ſich von ihnen verſpricht, beſonders wenn man die ſaure Flüſſigkeit in ihnen ſtehn laſſen will. Auſserdem ſind die Tröge zu breit und erfordern zu viel Flüſſigkeit, die gar nicht in Wirkſamkeit tritt, da eigentlich nur derjenige Theil der Flüſſigkeit, der zwiſchen der Zinkplatte und der ſie umgebenden Doppelplatte von Kupfer und zunächſt an ihrer vom Zinke abgewandten Oberfläche befindlich iſt, zur Leitung dient. Dagegen beruht ein groſser Vortheil der Trogapparate vor den Zellenapparaten darin, daſs die Kupferplatte in einer doppelt ſo groſsen Oberfläche, wie das Zink, angewandt werden kann und daſs die ganze metalliſche Oberfläche mit der Flüſſigkeit in Berührung kommt, während bei den Zellenapparaten die Oberflächen beider Metalle einander gleich ſeyn müſſen, auch für die Ueberführung des Stroms in die Flüſſigkeit die eine Oberfläche der Metallplatten gänzlich verloren geht.

Die *Kaſtenapparate* habe ich nicht ſo wirkſam gefunden, als man nach Oersted's Angabe hätte erwarten ſollen. Daſs hierbei, wenn man von den ſchmalen Seiten des Kaſtens ab-

1 Deſſen Journal XX. 206.

ſieht, eigentlich die gleiche Oberfläche des negativen und positiven Metalls mit der Flüssigkeit in Berührung kommt, daſs ferner die ganze äuſsere Oberfläche des Kupferkastens auſser Thätigkeit bleibt und daſs dadurch die Kosten des Apparats unnützer Weise vermehrt werden, dient nicht zur Empfehlung desselben. Auch nimmt die Aufstellung der Kasten viel Platz weg, ihre Isolirung erfordert überdieſs ein eigenes auch mit Kosten verbundenes Gestell. Daher sind diese Kastenapparate nie sehr in Gang gekommen. Ritter's Schüsselapparate schlossen die partielle Ausgleichung nicht genug aus. Erdmann's und Hauff's Apparate sind mehr in theoretischer als praktischer Hinsicht interessant. Dasselbe gilt auch von Kemp's Säulen mit flüssigen Metallen.

C. Verschiedenes Verhalten der verschiedenen Volta'schen Apparate in Rücksicht auf die drei Hauptclassen von Wirkungen, die von ihnen abhängen, und Erklärung dieser Verschiedenheit aus den unter II. aufgestellten Grnndsätzen.

AA. Wärmeerzeugung, Erglühen und Schmelzen von Metalldrähten durch die Volta'schen Apparate.

Wir haben diesen Gegenstand schon unter dem Artikel *Galvanismus*[1] erörtert und insbesondere die Gesetze für die Gröſse der Wärmeerzeugung durch die Volta'sche Säule aus den damals bekannten Versuchen abzuleiten, auch die Erklärung dieser Gesetze aus den Modificationen des elektrischen Stromes durch verschiedene Umstände zu geben versucht. Seitdem haben De la Rive[2] und Ohm[3] über diesen Gegenstand mehr Licht zu verbreiten gesucht. De la Rive glaubt durch eine Zusammenstellung mehrerer Erscheinungen den Beweis führen zu können, daſs es eigentlich der Widerstand,

1 S. Bd. IV. S. 689. §. 43. S. 921. §. 92.
2 Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre XVII. S. 170.
3 Ebendas. XVI. S. 1.

die Hemmung ſey, welche der elektr. Strom in ſeiner Bewegung findet, an welche das Erglühen als an ſeine weſentliche Bedingung geknüpft ſey. Dieſer Widerſtand vermindert ihm zufolge die Intenſität oder Geſchwindigkeit der Elektricität. Damit aber dieſe Verminderung überhaupt eine merkliche werde, müſſe der Strom ſelbſt eine gewiſſe Intenſität haben, und daher dürfe der Widerſtand in dem Leitungsdrahte nicht zu groſs ſeyn. Nur bei einer gewiſſen Länge werde daher das Glühen merklich werden und nicht eintreten, wenn dieſe Länge überſchritten werde. Laſſe man den Strom durch eine Reihe mit einander verbundener Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber von ungleicher Leitungsfähigkeit gehn, ſo werden die Drähte der ſchlechter leitenden Metalle (Platin, Eiſen) glühend, die der beſſer leitenden (Silber, Kupfer) nicht. Sind mehrere Drähte auch von homogenen Metallen unter einander verbunden, ſo wird es einen Strom von einer gewiſſen Stärke geben, wo nur die Berührungsſtellen, an denen der gröſste Widerſtand iſt, glühend werden. Beim Uebergange in die Flüſſigkeiten finde ein beſonders groſser Widerſtand ſtatt, hier müſste ſich alſo beſonders viel Wärme entwickeln, allein die groſse Wärme-Capacität der Flüſſigkeit und die Entbindung von Gasarten mache einen groſsen Theil der Wärme latent; doch finde immer noch Temperaturerhöhung ſtatt, und um ſo mehr, je weniger Gas entbunden werde, alſo namentlich eine gröſsere am poſitiven Pole. Bei gleicher Oberfläche (die Oberfläche aller Platten zuſammengenommen) ſey die Wärmeerzeugung um ſo gröſser, je kleiner die Anzahl der Platten ſey. Eine Säule von zwei Paar Platten von einem Quadratfuſs Oberfläche mache Metalldrähte glühend, während 18 Plattenpaare mit einer Oberfläche von 16 Quadratzoll für jede Platte, wo alſo die Geſammtoberfläche beinahe dieſelbe ſey, denſelben Draht nicht einmal heiſs mache. Den Hauptunterſchied dieſer groſsplattigen Säulen von wenigen Abwechſelungen und kleinplattiger Säulen mit vielen Abwechſelungen, welcher ihre verſchiedene Wirkſamkeit in der Wärmeerzeugung beſtimme, findet De la Rive mit Rückſicht auf das erſte von ihm aufgeſtellte Princip darin, daſs man bei der Volta'ſchen Säule auf zwei Momente Rückſicht zu nehmen habe, auf die *Intenſität* und die *Geſchwindigkeit* des elektr. Stromes. Die Intenſität ſoll von der Ober-

fläche und der Zahl der Elemente abhängen, die Geschwindigkeit dagegen im umgekehrten Verhältniſse der Zahl der Elemente stehn. Nun sey zur Wärmeerzeugung eine gewiſse Geschwindigkeit nöthig, welche einen verhältniſsmäſsigen Widerstand überwinden müsse. Bei einer Säule von vielen Plattenpaaren sey die Geschwindigkeit so gering, daſs eben darum auch der Widerstand nicht merklich werde. Sey daher die Geschwindigkeit des Stromes schon auf einen kleinern Grad herabgebracht, als sie es durch den Widerstand des Verbindungsdrahtes werden sollte, so werde in letzterem gar keine Wärmeentwickelung statt finden. Doch könne man durch Intensität den Mangel an Geschwindigkeit ausgleichen. So werde eine Säule von 60 Plattenpaaren einen Draht glühend machen, allein die Verbrennung werde lange nicht so lebhaft seyn, als wenn man nur 10 Platten derselben Säule nehme. Bei einem heterogenen unterbrochenen Leiter finde dagegen auch für eine Säule von vielen Plattenpaaren und ihre geringe Geschwindigkeit noch ein hinlänglicher Widerstand statt.

Es bedarf keiner ausführlichen Auseinandersetzung, wie wenig diese Erklärungen und Unterscheidungen mit den richtigen Begriffen von dem Wesen der Elektricität und des elektrischen Stromes in Einklang zu bringen sind und wie sehr ihnen selbst die entscheidendsten Erfahrungen entgegenstehn. Im Artikel *Galvanismus*[1] ist ein Versuch von van Marum und Pfaff angeführt worden, welchem zufolge gerade im Widerspruche mit De la Rive eine Säule ZK von 32 Abwechselungen von 5″ Seite eine viel gröſsere Wirkung im Verbrennen und Schmelzen als eine Säule von 8 Abwechselungen und 10″ Seite hervorbrachte. Der Hauptirrthum De la Rive's liegt aber offenbar darin, daſs er die Geschwindigkeit bloſs als ein einfaches Verhältniſs zum Leitungswiderstande der Säule betrachtet, da sie doch offenbar ein zusammengesetztes Verhältniſs der elektomotorischen Gesammtkraft, welche einerlei mit der Intensität selbst ist, und des Leitungswiderstandes ist. Die Intensität kann nur dadurch ihren Einfluſs ausüben, daſs sie die Geschwindigkeit des Stromes bestimmt und in dieser Hinsicht ihrer Zunahme nach in gleichem Sinne wirkt, wie die Zunahme der Berührungsfläche zwischen den

1 Bd. IV. S. 928.

flüssigen Leitern und den Metallplatten. Auch ist es nicht ganz richtig, wenn De la Rive die Wärmeerzeugung mit dem Widerstande, den der Strom in seinem Durchgange erleidet, in eine unzertrennliche directe Beziehung bringt, da ja mit der Zunahme des Widerstandes, z. B. bei der Anwendung einer gröſseren Länge des Verbindungsdrahtes, die Wärmeerzeugung abnimmt und sehr bald ganz unmerklich wird. Vielmehr wird hierbei alles durch die Intensität des Stromes selbst in einem gegebenen Raume, deren Maſs wir bereits oben erörtert haben, bestimmt.

Befriedigend scheint uns dagegen Ohm[1] die bereits erfahrungsmäſsig constatirten Verhältnisse, nach welchen das Erglühen der Metalldrähte von den verschiedenen Einrichtungen der Volta'schen Apparate und den verschiedenen Bestimmungen des Verbindungsdrahtes selbst abhängt, aus den oben aufgestellten Grundsätzen abgeleitet zu haben. Er bemerkt zuvörderst, daſs, da bei der Anwendung verschiedener metallischer Drähte von gleicher Dicke und Länge und derselben Intensität des elektr. Stromes der eine Draht ins Glühen versetzt wird, der andere nicht, der Glühungszustand selbst von zwei wesentlich von einander verschiedenen Factoren abhängen müsse, nämlich 1) von der im Innern des Körpers herrschenden Intensität des elektrischen Stromes, 2) von einem der besondern Natur des Körpers angehörenden Coefficienten, der als Eins mit dem Coefficienten des Leitungsvermögens für Elektricität anzusehn ist, nach allen darüber vorliegenden Versuchen, besonders denen von Children. Bezeichnet man diesen Glühungscoefficienten mit X und die Intensität des elektr. Stromes mit I, so ist $\frac{I}{X}$ der Glühungszustand des Körpers, welchem I und X angehören. Um die oben aufgestellte Formel für die Intensität des elektr. Stromes bequemer anzuwenden, müssen die verschiedenen Leitungswiderstände in den verschiedenen Säulen, so wie verschiedenen Theilen derselben, nach einem genauen Maſsstabe mit einander vergleichbar gemacht werden. Dieses erreicht man dadurch, daſs man den Widerstand, den irgend ein Theil der geschlossenen Säule,

1 A. a. O. und Nachtrag zur ersten Abhandlung in Kastner's Archiv XVII. 432.

z. B. eine gewiſse darin befindliche Drahtlänge, äuſsert, als Einheit zu Grunde legt. Aeuſsert dann ein beliebiger anderer Theil der geschloſsenen Säule z. B. einen dreifachen, vierfachen oder den halben Leitungswiderstand, als diese Drahtlänge, so wird man dann seinen Widerstand durch 3, 4 oder durch $\frac{1}{2}$ ausdrücken können und man wird wirklich diesen Theil mit jenem Drahte von der dreifachen, vierfachen oder halben Länge vertauschen können, ohne die Kraft des Stromes zu ändern. Ohm bedient sich deſshalb für den auf eine solche Einheit bezogenen Leitungswiderstand der Theile einer geschloſsenen Kette des Ausdrucks: *reducirte Länge*, und die doppelte oder dreifache reducirte Länge haben heiſst nichts anders, als einen Leitungswiderstand äuſsern, welcher der doppelte oder dreifache ist von dem als Einheit gesetzten Widerstande, den eine gewiſse bestimmte Länge irgend eines Theils von bestimmter Materie, Gestalt und Dicke äuſsert, sey es nun, daſs er sich in der Kette wirklich befinde, oder daſs er einen solchen äuſsern würde, wenn man ihn in die Kette brächte. Durch Hülfe der Magnetnadel mit dem Multiplicator läſst sich nach der oben angegebenen Weise das Verhältniſs irgend eines Widerstandes zu jener Einheit bestimmen.

Heiſst nun A die Summe aller Spannungen, L die Summe aller reducirten Längen der Theile der Säule mit Ausnahme des durch sie zu erglühenden Drahtes und Λ die reducirte Länge dieses Drahtes selbst, so ist $\frac{A}{L + \Lambda}$ die Gröſse des elektr. Stromes der Säule nach Einführung des zu erglühenden Drahtes. Da die Intensität des elektr. Stromes im umgekehrten Verhältniſse der Gröſse des Querschnittes, durch welchen der Strom sich ergieſst, steht, so wird, wenn Ω die Gröſse irgend eines Querschnittes der Säule darstellt, die zu diesem Querschnitte gehörige Intensität des Stromes $= \frac{A}{(L + \Lambda)\Omega}$ seyn. Da ferner der Leitungswiderstand oder die reducirte Länge eines prismatischen Körpers gefunden wird, wenn man die wahre Länge dieses Körpers durch seinen Querschnitt und sein Leitungsvermögen dividirt, so ist, wenn l die wahre Länge, ω den Durchschnitt, x das Leitungsvermögen des zu erhitzenden Drahtes bezeichnet, $\Lambda = \frac{l}{x\,\omega}$, und also die in

dem Querschnitte von der Gröſse Ω befindliche Intensität des Stromes $= \frac{A}{\left(L + \frac{l}{x\,\omega}\right)\Omega}$, folglich da $\Omega = \omega$ ist, so ist die Intensität des Stromes in dem Leitungsdrahte

$$I = \frac{A}{L\,\omega + \frac{l}{x}}.$$

Soll daher der Draht auf irgend einen bestimmten Grad des Erglühens gebracht werden, so muſs, wenn X den Glühungscoefficienten des Drahtes bezeichnet, $\frac{I}{X}$ einen gewissen diesem Glühungsgrade entsprechenden Werth annehmen, der durch G bezeichnet werden mag. Man erhält also zur Bestimmung dieses Glühungsgrades

$$G = \frac{A}{\left(L\,\omega + \frac{l}{x}\right)X},$$

wo die Werthe von x, l, ω so zu nehmen sind, wie sie dem auf den bestimmten Glühungsgrad erhobenen Drahte entsprechen, indem in dem Glühungszustande diese Werthe selbst bedeutend anders ausfallen, als in einer niedrigern Temperatur.

Sehr gut stimmen mit dieser Formel die Versuche, namentlich die von Children überein, wo Drähte von einem und demselben Metalle, aber von verschiedener Dicke, das einemal neben einander, das anderemal hinter einander in einer Länge den elektr. Strom von einer Stelle zur andern leiteten. Im erstern Falle erglühte der *dickere* Draht, im zweiten der *dünnere*. In beiden *hinter einander* in einer Länge befindlichen Drähten war die Gröſse des elektr. Stromes dieselbe, die Intensität des Stromes und also die Glühkraft muſste im dünnern Drahte gröſser seyn, und zwar in dem Verhältnisse, in welchem sein Querschnitt kleiner war, als der des dickern. Im letztern Falle ist die Intensität des Stromes in beiden Drähten dieselbe, insofern die wegen der durch den dickern Draht im Verhältnisse seines gröſsern Querschnitts durchgehenden gröſsern Menge gröſsere Intensität mit dem gröſsern Querschnitte im gleichen Verhältnisse wieder geringer ist, woraus eine Gleichheit der Intensität für beide Drähte folgt; da

Digitized by Google

aber der dünnere Draht durch die umgebende Luft verhältniſsmäſsig mehr Wärme verliert, so muſste die Glühkraft im dickern Drahte gröſser seyn.

Sind Drähte von gleicher Länge und Dicke, aber von verschiedenen Metallen, in die Kette neben einander eingeführt, so muſs in ihnen die Glühkraft dieselbe seyn, aber nur unter der Voraussetzung, daſs die Gröſsen x und X in jedem Metalle einander proportional sind. Ist diese Proportionalität wirklich vorhanden, wie wahrscheinlich ist, so müſsten allenfallsige Unterschiede in ihrem Erglühen lediglich aus dem Unterschiede ihres Leitungsvermögens für die Wärme zu erklären seyn, was also ein gutes Mittel an die Hand gäbe, die Hypothese jener Proportionalität zu prüfen.

Durch weitere Ausführung seiner Formel entwickelt Ohm die Glühungswirkung verschiedener Volta'scher Apparate auf Drähte von demselben Metalle und demselben Querschnitte, wiefern nämlich dadurch verschiedene Längen glühend gemacht werden, und findet folgende Gesetze.

1) Bei Volta'schen Säulen, die aus ganz gleichen Elementen nur in verschiedener Anzahl gebaut sind, steht die Länge des Drahtes, welche sie zu einem und demselben Grade des Glühens bringen, zu der Anzahl der Elemente in einem constanten Verhältnisse.

2) Bei sonst ganz gleichen Volta'schen Apparaten verhalten sich, wenn nur die Flächen, in welchen die Metallplatten mit der Flüssigkeit in Berührung kommen, von einander abweichen, die Unterschiede der Drahtlängen $l' - l$, $l'' - l$, $l''' - l$ zu einander, wie die Werthe

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''} \ldots,$$

wo den Werthen f, f', f'', f'''.... die Drathlängen l, l', l'', l'''.... zugehören. Dieses giebt folgenden einfachen Ausdruck:

Die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch verschiedene Volta'sche Apparate, die in nichts als der Flächengröſse ihrer Metallplatten sich von einander unterscheiden, bis zu einem und demselben Grade des Erglühens gebracht werden, verhalten sich zu einander, wie die Unterschiede, um welche die Einheit das Verhältniſs übersteigt, welches aus den Flächengröſsen der zu den entsprechenden Apparaten gehörigen Metallplatten gebildet wird.

Digitized by Google

Verhalten sich z. B. die Flächengröſsen wie 1, 2, 4, 8 u. s. w., dann werden die Unterschiede

$$1 - \frac{f}{f'},\ 1 - \frac{f}{f''},\ 1 - \frac{f}{f'''}\ldots$$

der Reihe nach $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{7}{8}$. Man hat demnach in diesem Falle $l' - l : l'' - l : l''' - l \ldots\ldots = \frac{1}{2} : \frac{3}{4} : \frac{7}{8} \ldots$ oder auch $l' - l : l'' - l' : l''' - l'' \ldots = \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8} \ldots\ldots$ d. h. die Unterschiede der Drahtlängen, welche durch Volta'sche Apparate von der angezeigten Art auf einerlei Grad des Glühens gebracht werden können, werden von einem Apparate zum andern stets um die Hälfte kleiner. Es werden demnach der Glühkraft eines Volta'schen Apparats in Beziehung auf Länge des Drahtes durch Vergröſserung seiner Flächen bald feste Grenzen gesetzt werden. Eine Bestätigung dieser Gesetze durch genaue und oft genug abgeänderte Versuche fehlt indeſs noch.

BB. Chemische Wirkungen der Volta'schen Apparate.

Unter dem Artikel *Galvanismus* sind die chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes galvanischer Ketten nach ihren allgemeinsten Gesetzen und einige derselben bereits ausführlich abgehandelt worden. Doch haben wir einige der interessantesten gerade diesem Artikel vorbehalten müssen, da sie vorzüglich durch Hülfe derjenigen Volta'schen Apparate dargestellt worden sind, auf welche wir an jenem Orte noch nicht Rücksicht genommen haben.

Mit Ausnahme des *Titanoxyds*, *Ceriumoxyds*, *Tantaloxyds*, der *Yttererde*, der *Kieselerde* und *Thonerde* giebt es keinen auch sonst auf chemische Weise zerlegbaren und sich also als zusammengesetzt beweisenden Körper, den es nicht gelungen wäre, durch Hülfe Volta'scher Apparate zu zersetzen und seine Bestandtheile wenigstens vorübergehend isolirt darzustellen. Eben durch die Zerlegung derjenigen Körper, welche man zwar einer strengen Analogie zufolge mit höchster Wahrscheinlichkeit als zusammengesetzt betrachten konnte, die aber früher allen chemischen Zerlegungsversuchen widerstanden hatten, nämlich der Alkalien und alkalischen Erden, erhielt der Volta'sche Apparat gleichsam eine neue Verherrlichung. Diese groſse Entdeckung verdanken wir Sir Humphry

Digitized by Google

Davy, der die Reduction der Alkalien zu Metallen zuerst im Jahre 1807 zu Stande gebracht. Zur richtigen Beurtheilung dieses Erfolgs müssen wir einige allgemeine Bemerkungen über die Wirkungsart des elektr. Stromes in den chemischen Zersetzungen und über den Einfluſs der besondern Beschaffenheit des zu zersetzenden Körpers auf diesen Strom vorausschicken.

Jede Zersetzung durch den elektr. Strom erfolgt zunächst stets in zwei in einem elektrischen Gegensatze gegen einander stehende Bestandtheile und erreicht ihre Grenze nur, wenn die Grundstoffe, welche in dem gröſsten Gegensatze stehn und zu den einfachsten Zusammensetzungen, den binären, vereinigt waren, von einander getrennt und nach den entsprechenden Polen der Säule gebracht worden sind. Daſs die Zersetzung wirklich zu Stande komme, hängt davon ab, daſs der elektrische Strom eine hinlängliche Stärke habe, um die Verwandtschaft, welche die beiden zu trennenden Bestandtheile zusammenhält, zu überwinden. Ist der elektr. Strom an und für sich nicht stark genug, so kann doch die Zersetzung bewirkt werden, wenn eine im gleichen Sinne wirkende Verwandtschaft mithilft, in welchem Falle wenigstens einer der Bestandtheile eine neue Verbindung eingeht. Das Quantum der Zersetzung hängt gleichfalls von der Stärke des elektr. Stromes ab. Unter dieser Stärke ist zunächst die Intensität, mit welcher der elektr. Strom durch den zu zersetzenden Körper hindurchgeht, zu verstehen, und *jedem Grade von Verwandtschaft, womit zwei Bestandtheile zusammenhalten, muſs eine bestimmte Intensität des elektr. Stromes* entsprechen, um die Zersetzung zu bewirken. Diese Intensität kann nach Beschaffenheit des zu zersetzenden Körpers bald durch Verminderung des Leitungswiderstandes, bald aber auch nur durch Vermehrung der Zahl der Elemente erreicht werden und hängt lediglich von dem besondern Leitungsvermögen des zu zersetzenden Körpers ab. Dieses Leitungsvermögen ist in den verschiednen Flüssigkeiten höchst verschieden, da z. B., das Leitungsvermögen des reinen destillirten Wassers als Einheit zum Grunde gelegt, dasselbe schon 30mal übertreffen wird, wenn auch nur $\frac{1}{600}$ Salmiak in dem Wasser aufgelöst wird [1]. Wenn

1 Vergl. Pfaff in Schweigger's Jahrb. LV. 218. und Fechner in

man Flüssigkeiten zur Schlieſsung der Kette anwendet, welche ein sehr geringes Leitungsvermögen haben, so wird man durch Vergröſserung der Platten sehr wenig ausrichten können. Wenn nämlich in der oben erklärten Gleichung $K = \frac{A}{L}$ an die Stelle von L seine Werthe a und b gesetzt werden, wo a den Leitungswiderstand in der Säule, b den Leitungswiderstand der zu zersetzenden Flüssigkeit darstellt, so sieht man leicht ein, daſs, wenn a auch noch so sehr verkleinert und selbst auf 0 herabgebracht wird, sey es durch Vergröſserung der Platten, oder durch Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit, dieses doch keinen merklichen Einfluſs auf die Vergröſserung des Quotienten $\frac{A}{a + b}$, d. h. auf die Verstärkung des elektr. Stromes haben wird, sobald a ein verschwindendes Verhältniſs gegen b hat. Hier wird man also bloſs durch Vergröſserung des Werthes von A, d. h. durch Anwendung einer Säule von vielen Plattenpaaren auch von kleiner Oberfläche, allein etwas ausrichten und eine Zersezzung bewerkstelligen können, die bei einer geringen Anzahl von Platten auch durch jede Vergröſserung ihrer Oberfläche nicht erreicht werden kann. Ganz anders aber wird sich die Sache verhalten, wenn der Werth von a gegen b nicht verschwindend ist, ihre Werthe einander gleich sind oder gar der Werth von a den von b übertrifft, was in vielen Fällen statt finden kann, wo die zu zersetzende Flüssigkeit ein groſses Leitungsvermögen hat. Hier wird man allerdings den Strom auffallend verstärken können, wenn man in dem galvanischen Apparate eine Flüssigkeit von besserem Leitungsvermögen anwendet oder die Oberfläche der Metallplatten vergröſsert. Hieraus ergeben sich folgende allgemeine Gesetze:

a) Bei sehr geringem Leitungsvermögen des zu zersetzenden Körpers, der den Kreis der Volta'schen Säule schlieſst, wird man nur durch Säulen von vielen Elementen etwas ausrichten, und es ist eine um so gröſsere Zahl derselben nöthig, je gröſser die Verwandtschaft ist, mit wel-

---

der Uebers. von Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. III. Band. S. 357.

cher die Beſtandtheile des zu zerſetzenden Körpers zuſammenhängen.

b) Bei ſehr geringem Leitungsvermögen des den Kreis ſchlieſsenden zu zerſetzenden Körpers wird man durch bloſse Verminderung des Leitungswiderſtandes in der Säule bei gleichbleibendem Werthe von A nichts ausrichten.

c) Dagegen wird man bei höherem Leitungsvermögen des den Kreis ſchlieſsenden zu zerſetzenden Körpers auch durch Säulen von wenigen Elementen etwas auszurichten vermögen, wenn man den Leitungswiderſtand in denſelben durch Vergröſserung der erregenden Oberfläche oder durch Anwendung einer beſſer leitenden Flüſſigkeit ſehr merklich vermindert.

d) Auch wird man in allen denjenigen Fällen, wo der Leitungswiderſtand von b viel geringer iſt, als der von a, durch Erhöhung dieſes Leitungswiderſtandes in b, indem man den Durchſchnitt deſſelben verkleinert, *durch Erhöhung der Intenſität des elektr. Stromes* verhältniſsmäſsig mehr für die Zerſetzung gewinnen, als man durch Vergröſserung des Leitungswiderſtandes verliert.

Eine Menge beſonderer Erſcheinungen finden dadurch ihre Deutung und verlieren ihre ſcheinbare Räthſelhaftigkeit. Dahin gehören namentlich einige Erfahrungen von Gay Lussac und Thénard[1], die als Reſultat ihrer Beobachtungen anführen, daſs, wenn es darauf ankommt, Elemente zu trennen, die bloſs einer beträchtlichen Kraft weichen, man Säulen von vielen Lagen anwenden müſſe, und die ferner beobachteten, daſs in einer mit reinem Waſſer gefüllten Entbindungsröhre ſelbſt ihr auſserordentlich ſtarker Zellenapparat von 600 Plattenpaaren keine merkliche Gasentwickelung bewirkte, indem das reine Waſſer für die immer verhältniſsmäſsig ſchwache Spannung dieſes mächtigen Apparats doch als eine Art von Iſolator wirkte. Die *Alkalien* erfordern eben, weil ſie, um reducirt zu werden, nicht in Auflöſung, ſondern nur in einem ſchwach befeuchteten Zuſtande angewandt werden können, in welchem ſie nur ſehr unvollkommene Leiter ſind, ſehr mächtige Apparate von einer gröſsern Anzahl von Plattenpaaren, worin

---

1 S. Berthollet's Bericht in Schweigger's Journ. I. 409. u. die Anm. d. H.

die von ſo vielen Phyſikern angeſtellten Verſuche vollkommen mit einander übereinſtimmen. H. Davy[1] leitete erſt durch das Kali, während es durch die mit Sauerſtoffgas angeblaſene Weingeiſtlampe vermittelſt des Löthrohrs in einem Platinlöffelchen in heftiger Rothglühhitze und im Zuſtande vollkommener Flüſſigkeit erhalten wurde, den elektriſchen Strom eines ſtark geladenen Zellenapparats von 100 Plattenpaaren, jedes 6″ Seite haltend, deren poſitiven Pol er mit dem Platinlöffelchen, den negativen durch einen Platindraht mit dem Kali in Verbindung gebracht hatte. Unter dieſen Umſtänden war das Kali in hohem Grade leitend, und ſo lange die Verbindung dauerte, ſah er an dem negativen Drahte ein ſehr lebhaftes Licht und im Berührungspuncte eine *Flammenſäule*, welche von einem ſich hier bildenden verbrennlichen Körper herzurühren ſchien. Bei der umgekehrten Vertheilung der Polardrähte ſah man zwar am poſitiven Pole ein lebhaftes und bleibendes Licht, aber nichts, was einem Verbrennen geglichen hätte, dagegen ſah man durch das Kali Gasbläschen aufſteigen, die ſich in der Atmoſphäre eins nach dem andern entzündeten. Davy machte den Schluſs, daſs, da das Kali vollkommen trocken war (doch fehlte chemiſch gebundenes Waſſer nicht), der am negativen Pole auftretende verbrennliche Körper durch eine Reduction des Kali ſelbſt hervorgebracht ſeyn müſſe, und ſo ging er, um dieſen Körper zu erhalten, zu den eigentlich entſcheidenden Verſuchen über, indem er nur ſchwach befeuchtetes Kali anwandte und einen noch viel energiſchern Apparat, nämlich den obigen Zellenapparat in Vereinigung mit 150 vierzölligen Plattenpaaren gebrauchte. Erman und Simon[2], die erſten deutſchen Phyſiker, welche Davy's Verſuche wiederholten, bewirkten die Reduction mit einer Säule von 60 Plattenpaaren Zink und Kupfer von einem Durchmeſſer von 8″, deren Pappſcheiben mit Salmiakauflöſung getränkt waren, dagegen gelang Erman mit einer Säule von einigen hundert Plattenpaaren von blank geſcheuertem Zink und Silber, deren Durchmeſſer kaum einen Zoll betrug, die Reduction nicht[3]

1 G. XXXI. 117.
2 G. XXVIII. 121.
3 Ebendaſ. 129.

Digitized by Google

Die Wiener Physiker Jacquin, Schreibers, Tihawsky und Bremser[1] brachten die Reduction durch eine Säule von 1160 Plattenpaaren Zink und Kupfer, welche zusammen 54 Quadratfuſs und 23 Quadratzoll hielten, zu Stande. Doch erhielt Jacquin schon durch eine Säule von 300 Plattenpaaren von 3″ Durchmesser die Reduction des Kali's und Natrons. Berzelius gelang dieselbe dagegen nicht mit einer Säule von 26 Plattenpaaren mit einer Oberfläche von 100 Quadratzollen jedes Plattenpaares[2].

Auch Ritter[3] bestätigte durch seine Versuche den entschiedenen Vorzug der Apparate von vielen Abwechselungen mit verhältniſsmäſsig kleiner Oberfläche vor denen mit wenigen Abwechselungen und groſser Oberfläche. Er wandte nun Säulen von 1⅔ Quadratzoll Oberfläche an und fand eine solche von 300 Abwechselungen wirksamer, als einen Schüsselapparat von 36 — 40 Quadratzollen und 50 Abwechselungen mit 30fach verdünnter Schwefelsäure in Thätigkeit gesetzt. Gay Lussac und Thénard wollen die Reduction der Alkalien schon durch eine Säule von 80 Plattenpaaren, die nur eine Oberfläche von 6 Quadratzollen hatten, zu Stande gebracht haben. Mit seinem oben beschriebenen Trogapparate von 20 Riesenplattenpaaren vermochte Children die Alkalien nicht zu reduciren, während er den vollkommensten Erfolg mit einem kleinplattigen Trogapparate von 200 Abwechselungen von nur 2 Quadratzoll Oberfläche jeder Platte und bei Anfüllung der kleinen Tröge von Pfeifenthon mit verdünnter Schwefelsäure und Salpetersäure hatte.

Wendet man eine hinlänglich starke Säule an, so hat man noch Folgendes zu beachten. Man legt ein dünnes Stück von schwach befeuchtetem Aetzkali auf eine Silber- oder Platinscheibe, die mit dem positiven Pole des Volta'schen Apparates verbunden ist, und berührt die Oberfläche des Alkalis mit dem Silber- oder Platindrahte des negativen Poles. Das Alkali schmelzt bald am Berührungspuncte, in kurzem erscheinen um den Draht herum kleine metallisch glänzende Kügel-

---

1 G. XXVIII. 133.

2 G. XXXVI. 247.

3 Denkschriften der Kön. Acad. der Wissenschaften zu München für das Jahr 1808. S. 207.

Digitized by Google

chen, die nach und nach an Gröſse wachsen, bis sich endlich eine Rinde von Alkali auf ihrer Oberfläche zu bilden anfängt. In diesem Augenblicke muſs man sie mit einer Messerspitze wegnehmen und sogleich unter gereinigtes Steinöl tauchen. Zuweilen, wenn keine Kügelchen erscheinen, findet man sie doch, wenn die Schlieſsung einige Zeit hindurch gedauert hat, an der untern Fläche des aufgehobenen Alkali's eingelegt. Ist die Wirkung des Volta'schen Apparats stark, so entzünden sich zuweilen die Kügelchen und detoniren sogar im Augenblicke der Entstehung. Um die oxydirende Einwirkung der Luft während der Reduction zu verhüten, hat man vorgeschlagen, dieselbe sogleich unter Steinöl vorzunehmen. Das schwach befeuchtete Kali wird zu diesem Zwecke zwischen zwei Platinplatten in ein schickliches Gefäſs gelegt, das man sogleich, nachdem es in die Kette gebracht ist, mit Steinöl füllt.

Ein viel schwächerer elektrischer Strom reicht schon zur Reduction hin, wenn man die Verwandtschaft des Quecksilbers, das sich mit dem Kalium oder Natrium zum Amalgam verbindet, zu Hülfe nimmt. Ritter fand[1], daſs breite Säulen von wenigen Plattenpaaren zur Erzeugung dieses Amalgams günstiger sind, als vielplattige schmale Säulen, und fand selbst eine kleinplattige Säule von 400 Plattenpaaren nicht so wirksam, als 40 Abwechselungen seines Schüsselapparats. Der Grund davon liegt darin, daſs hier durch die Berührung des Kali's mit dem Quecksilber eine viel gröſsere leitende Oberfläche dem Strome dargeboten ist, auch nicht nothwendig festes, nur wenig befeuchtetes Kali angewandt werden muſs, sondern auch eine concentrirte Lauge, die ein vortrefflicher Leiter der Elektricität ist, das Amalgam liefert. Ja im letztern Falle ist nach Herschel's[2] und meinen Versuchen[3] selbst eine Säule von 10 Plattenpaaren von nur einem halben Zoll Durchmesser hinreichend, um die Reduction des Kali's und Natrons zu bewirken. Man kann den Versuch entweder so anstellen, daſs man in ein Stück befeuchteten Kali's eine Höhlung macht, die möglichst tief und mit Quecksilber angefüllt ist, das Stück auf eine Platinplatte legt und

1 A. a. O.
2 Schweigger's Journ. XLIV. 196 fg.
3 Ebendas. XLVIII. 200. 240.

Digitized by Google

den positiven Pol des Volta'schen Apparats mit der Platte, den negativen Pol durch einen Platindraht mit dem Quecksilber in Berührung setzt, wo bei hinlänglicher Wirksamkeit der Säule so viel Kalium abgeschieden wird, daſs das Amalgama fest wird, oder man kann auch nach Berzelius Angabe[1] das Quecksilber, das sich in einer Porzellanschale befindet, mit einer sehr concentrirten Lauge von kaustischem Kali übergieſsen, worin sich noch einige Stücke ungelösten Kali's befinden. In das Quecksilber bringt man dann von dem negativen Pole aus einen Eisen- oder Platindraht und ebenso von dem positiven Pole aus einen Platindraht in die Kalilauge. Das Quecksilber wird allmälig schwerflüssig und man entdeckt kleine sich bildende Metallkrystalle, wie es scheint von kubischer Gestalt, welche eine feste chemische Verbindung von Kalium und Quecksilber sind. Ritter[2] fand das mit Kalium gesättigte Quecksilber, besonders wenn er es aus dem Kreise herausnahm, in deutlichen Würfeln krystallisirend, die er von einer halben Linie und auch noch gröſser sah. Die Menge des Kaliums, die selbst in der festen Verbindung mit dem Quecksilber zusammengetreten ist, beträgt nicht mehr als 2 Procent. Das gebildete Amalgam, um es aufzubewahren, muſs man unter Steinöl bringen, oder, wie Davy gethan hat, das Quecksilber mit dem Alkali sogleich unter Steinöl galvanisiren, da sonst das Kalium sich bald wieder oxydiren würde. Zur Darstellung dieses Amalgams ist es eben nicht erforderlich, Aetzkali zu nehmen, sondern selbst aus Salzen mit Kaligrundlage, dem kohlensauren, essigsauren, schwefelsauren Kali und dem Chlorkalium läſst sich dasselbe auf die angezeigte Weise darstellen.

Ebenso wie Kali verhält sich das Natron und wird aus seinen Salzen, namentlich dem schwefelsauren Natron und dem Chlornatrium, durch Hülfe des Quecksilbers leicht reducirt.

Das Lithium wurde durch Davy aus dem Lithonhydrate dargestellt und verhält sich in seinen Eigenschaften sehr ähnlich dem Natrium[3].

Den Baryt, Strontian und Kalk unterwarf Davy[4] im

---

1 Lehrbuch der Chemie. Neueste Auflage. 7. Heft. S. 283.
2 A. a. O. S. 201.
3 Berzelius Lehrbuch 7. Heft. S. 322.
4 G. XXXII. 369.

schwach befeuchteten Zustande unter Steinöl mittelst Eisendrähten der Einwirkung desselben mächtigen Apparats, durch den er das Kali reducirt hatte. Es entwickelte sich dabei viel verbrennliches Gas. Die Erden nahmen an der Stelle, wo sie mit dem negativen Pole in Berührung standen, eine dunklere Farbe an und zeigten einige metallisch glänzende Puncte, die an der Luft allmälig weiſs wurden; als Davy sie mit der Loupe betrachtete, sah er, daſs sich ein grünlicher Staub von ihnen trennte, während kleine Gasbläschen sich entwickelten. Davy hielt sie für Legirung dieses Metalls mit Eisen.

Gay Lussac und Thénard[1] sahen bei Anwendung ihres mächtigen Trogapparats über die Oberfläche des geschmolzenen Baryts Funken gegen den negativen Draht hinspringen und mit einem sehr scharfen und sehr gefährlich athembaren Rauche verschwinden. Der Strontian und Kalk gaben ihnen nur zweifelhafte Zeichen von Zersetzung.

Viel leichter gelingt die Reduction dieser alkalischen Erden durch Hülfe des Quecksilbers, mit welchem ihre metallischen Radicale sich zu Amalgamen verbinden. Gay Lussac und Thénard erhielten vermittelst einer Säule von 100 Plattenpaaren von 3″ Seite das Baryumamalgam sehr leicht. Man legt das Barythydrat, das mit Wasser zu einem dünnen Brei angerührt worden ist, auf das Quecksilber. In diese Masse führt man einen Platindraht vom positiven Pole ein und verbindet das Quecksilber durch einen Eisen- oder Platindraht mit dem negativen Pole. Aus dem Amalgame kann man dann durch Destillation des Quecksilbers aus einer vorher mit Wasserstoffgas gefüllten Retorte das Baryum erhalten. Herschel[2] erhielt aus einer Auflösung von salzsaurem Baryt, womit eine kleine Quecksilberkugel übergossen wurde, in gröſster Schnelligkeit mit einer Säule von 8 Paaren des Baryumamalgam. Die kleine Quecksilberkugel, mit dem negativen Polardrahte verbunden, bildete schöne baumartige Formen und verdickte sich zu einem festen, ganz krystallinischen Amalgam.

Man erhält nach Davy's Versuchen die Amalgame von Baryum, Strontium und Calcium gleichfalls, wenn man durch Mengungen aus 2 Theilen der befeuchteten Hydrate dieser

---

1 Schweigger's Journ. II. 420.
2 Schweigger's Journ. XLIV. 201.

Digitized by Google

alkalischen Erden und einem Theile rothen Quecksilberoxyds den elektrischen Strom hindurchgehn läſst. Als Davy[1] diese Mengungen mit einem ganz neuen Zellenapparate von 500 Doppelplatten von 6″ Seite galvanisirte, entstand jedesmal eine solche Hitze beim Schlieſsen, daſs das Quecksilber und das reducirte Metall verbrannten. Vermehrte er die Oberfläche der Leiter, so war die entzündende Kraft geringer und das Amalgam fuhr dennoch beständig fort sich zu bilden, doch erhielt er es nur in dünnen Häutchen, nie in Kügelchen. Mit der Talkerde gelang der Versuch nur unvollkommen, als er aber befeuchtete schwefelsaure Talkerde anwendete, bekam er das Amalgam schnell. Am leichtesten erhielt Davy die Amalgame, als er befeuchtete Gemenge von Baryt, Strontian, Kalk, Magnesia mit $\frac{1}{4}$ Quecksilberoxyd auf ein Platinblech brachte, in ihre Oberfläche eine Vertiefung machte, die groſs genug war, einen Quecksilbertropfen von 50 bis 60 Gran aufzunehmen, das Ganze mit ein wenig Steinöl übergoſs und dann durch schickliche Leiter so in den Kreis seines Trogapparats von 500 Plattenpaaren brachte, daſs das Platinblech positiv, das Quecksilber negativ elektrisirt wurde.

Das Ammoniak bietet im Kreise der Volta'schen Säule merkwürdige Erscheinungen dar, die hier noch kurz erwähnt zu werden verdienen. Setzt man flüssiges Ammoniak der Wirkung des elektr. Stromes aus, so wird dieses in seine näheren Bestandtheile zersetzt, am positiven Pole erscheint Stickgas, am negativen Pole Wasserstoffgas. Bei einem gewissen Grade der Concentration der Flüssigkeit erscheint am positiven Pole neben dem Stickgas auch Sauerstoffgas. Ganz eigenthümliche Erscheinungen finden aber statt, wenn man Ammoniakflüssigkeit oder auch eine Auflösung eines Ammoniaksalzes, namentlich des Salmiaks, in Berührung mit Quecksilber, dem elektr. Strome einer Volta'schen Säule unterwirft, indem man den negativen Eisen- oder Platindraht in das Quecksilber, den positiven Platindraht in die Flüssigkeit eintaucht. Es bildet sich hierbei ein ganz eigenthümliches Amalgam, das sogenannte Ammonium-Amalgam. Seebeck scheint der erste gewesen zu seyn, der die Bildung dieses Amalgams beobachtete, die erste genauere Untersuchung wurde aber von Ber-

1 G. XXXII. 374.

zelius und Pontin, und, wie es scheint, ohne von Seebeck's Beobachtungen etwas zu wissen, vorgenommen[1], demnächst von H. Davy[2] und den französischen Chemikern Gay Lussac und Thénard[3] zum Gegenstande einer sorgfältigen Untersuchung gemacht. Um diesen merkwürdigen Körper zu erhalten, legt man nach Berzelius Angabe[4] auf den Boden einer gläsernen Schale ein wenig Quecksilber und führt den negativen Draht von Eisen oder Platin in dasselbe, gieſst darauf eine concentrirte Ammoniakflüssigkeit und taucht in dieselbe den positiven Polardraht so ein, daſs er nur eine Linie vom Quecksilber absteht. Im ersten Augenblicke giebt bloſs der positive Drath Gas, aber bald fangen auch Gasblasen vom Quecksilber aus an sich zu entwickeln, dieses schwillt auf, wird allmälig dick wie Butter, erhält eine silberweiſse Farbe und wird zu einem 5- bis 6mal gröſsern Volumen ausgedehnt. Dieses dann nicht mehr flüssige Amalgam verwandelt sich beim Herausnehmen aus dem Kreise unter Entwickelung von Wasserstoffgas sehr bald in Ammoniak und Quecksilber, welches letztere sein ursprüngliches Volumen wieder annimmt. In gröſserer Menge und in starrer Gestalt läſst sich, wie Davy zuerst angegeben, dieses Amalgam so darstellen, daſs man in ein Stück Salmiak eine runde Vertiefung schneidet, diese mit Wasser befeuchtet, eine Kugel Quecksilber hineinbringt und diese vermittelst eines Platindrahtes mit dem negativen Pole der elektr. Säule in Verbindung setzt, während man vom positiven Pole einen Platindraht in den feuchten Salmiak hineinführt und diesen dem Quecksilber so nahe wie möglich bringt. Das Quecksilber schwillt dann auſserordentlich an und wird endlich starr. Am schönsten erhält man dieses Amalgam, wenn man in jene im Salmiak gemachte Grube statt Quecksilbers einen Tropfen Kalium-Amalgam bringt und fast ebenso, wie angegeben worden ist, verfährt. Das Ammonium-Amalgam wächst dann bald hoch über die Grube hinaus und bildet selbst eine Art von Verästelung, gleich einem kleinen Bleibaume. Ueber

1 Recherches physico-chemiques par Gay Lussac et Thénard. p. 52.

2 G. XXXIII. 241.

3 A. a. O.

4 Dessen Lehrbuch. 4. Ausg. 1. S. 326.

die Zusammensetzung dieses Ammonium-Amalgams sind die Ansichten der Chemiker noch getheilt, mir ist es jedoch am wahrscheinlichsten, daſs der für sich noch nicht isolirt dargestellte Stoff, den man mit dem Namen Ammonium bezeichnet und der eben mit dem Quecksilber jenes Amalgam bildet, aus einem Antheile eines ganz eigenthümlichen Metalls, welches die Grundlage des Stickstoffs ausmacht, der selbst sein erstes Oxyd ist und welchem Berzelius den Namen Nitricum gegeben hat, und aus drei *Antheilen* Wasserstoff besteht, so daſs in diesem Processe der Stickstoff ebenso wie das Kali reducirt wird und das Metall desselben mit den drei Antheilen Wasserstoff, welche mit einem Antheile Stickstoff das Ammoniak bilden, zum *Ammonium* zusammentritt. Das Merkwürdigste hierbei ist, daſs, ungeachtet das Quecksilber durch seine Verbindung mit diesem noch problematischen Ammonium eine so auſserordentliche Veränderung erleidet, indem es sogar specifisch leichter als das Wasser wird, das Gewicht des Ammoniums nach Davy doch nur $\frac{1}{12000}$ der Verbindung ausmacht.

Die übrigen Zersetzungen betreffend, welche durch die Volta'sche Säule bewirkt werden, ist alles Bemerkenswerthe bereits unter dem Artikel *Galvanismus*, insbesondere in §. 35., §. 88. und §. 89., abgehandelt worden.

CC. Physiologiche Wirkungen.

Wir haben zwar bereits im Artikel *Galvanismus* das Räthselhafte, daſs sich bei gleichbleibender Anzahl der Plattenpaare die Kraft der hydroelektrischen Säule in dem Erglühen der Metalldrähte und in den Verbrennungserscheinungen derselben, auch in einigen chemischen Erscheinungen mit der Vergröſserung der Oberfläche der Metallplatten so auſserordentlich verstärkt zeigt, während sich diese Verstärkung in den physiologischen Wirkungen, namentlich in den Affectionen des Gemeingefühls, fast gar nicht kund thut, daſs über eine gewisse an sich geringe Breite der Platten hinausgegangen die Erschütterungen eben nicht mehr zunehmen, während diese mit der Zunahme der Zahl der Plattenpaare fast ins Unbestimmte wachsen, daſs ferner ein einfaches Plattenpaar von groſser Oberfläche in Rücksicht auf Erglühn von Metalldrähten sich auſserordentlich wirksam zeigen kann, während die Wirkung auf den menschlichen Körper durch Erschütterung fast

Digitized by Google

unmerklich ist, durch das so überwiegende Leitungsvermögen der Metalldrähte, die ins Glühen versetzt werden, und mancher salzigen und sauren Flüssigkeiten, verglichen mit dem so geringen Leitungsvermögen des menschlichen Körpers, besonders mit Rücksicht auf die groſse Strecke, die der elektr. Strom in demselben zu durchlaufen hat, aufzuklären gesucht. Die Sache wird aber noch deutlicher durch die Anwendung der unter B entwickelten Grundsätze. In allen den Fällen nämlich, wo es darauf ankommt, den elektrischen Strom auf schlecht leitende Körper einwirken zu lassen, wird man die Zahl der Plattenpaare möglichst zu vervielfachen haben, um durch die Zunahme der Summe der elektromotorischen Kräfte den gröſsern Leitungswiderstand zu compensiren, dagegen seinen Zweck nicht erreichen durch Vergröſserung der Oberfläche der Plattenpaare, da man dadurch nichts anderes bezwekken würde, als den Leitungswiderstand in der Flüssigkeit, welche zum feuchten Leiter dient, zu vermindern oder selbst zum Verschwinden zu bringen, was um so weniger merklichen Vortheil gewähren kann, je mehr dieser Widerstand schon vorher gegen den Widerstand in den übrigen Theilen des Kreises verschwand.

Gesetzt der Widerstand der metallischen Theile, also namentlich des zum Erglühen zu bringenden Metalldrahtes, verhalte sich zum Leitungswiderstande in der Flüssigkeit wie 1:100, so wird, wenn wir die elektromotorische Kraft $= 1$ setzen, die Kraft des elektr. Stromes $= \frac{A}{L}$ proportional seyn der Zahl $\frac{1}{100+1}$, nämlich der elektromotorischen Kraft dividirt durch den Gesammtleitungswiderstand. Verdoppelt man das Leitungsvermögen in der Flüssigkeit, entweder durch Verdoppelung des Querschnittes mittelst Vergröſserung der Oberfläche, oder durch Hinzufügung von Säuren oder Salzen, so wird dadurch der Widerstand von 100 auf 50 reducirt, während der Widerstand des metallischen Theils $= 1$ dasselbe bleibt, mithin ist die Kraft des elektr. Stromes in dieser Beziehung $= \frac{1}{51}$, folglich das Verhältniſs der Kraft des elektrischen Stromes wie $\frac{1}{51}$ zu $\frac{1}{101}$ beinahe doppelt so groſs wie zuvor. Verhält sich aber umgekehrt der Widerstand in der Flüssigkeit zum Widerstande der festen Theile des Volta'schen

Digitized by Google

Kreises, namentlich des menschlichen Körpers, der bei seiner groſsen Ausdehnung einen beträchtlichen Widerstand entgegensetzt, wie 1:100, so würden, wenn man durch Verdoppelung der Oberfläche, wodurch die Flüssigkeit mit den Metallplatten in Berührung steht, oder durch Erhöhung des Leitungsvermögens der Flüssigkeit durch einen Zusatz von Säure oder Salz den Leitungswiderstand von 1 auf $\frac{1}{2}$ herabbringt, während 100 unverändert bleibt, die Kraft des elektr. Stromes doch nur auf $\frac{1}{100,5}$ gebracht, welches sehr wenig gröſser ist, als $\frac{1}{101}$, ja wie groſs man auch die erregende Oberfläche und von wie gutem Leitungsvermögen man auch die Flüssigkeit nehmen möchte, die Gröſse der möglicher Weise hierdurch zu erreichenden Wirkung würde nicht über $\frac{1}{100}$ steigen können, bis dahin nämlich, wo der Leitungswiderstand in der Flüssigkeit verschwunden ist. Man sieht aber auch zugleich hieraus, daſs unrichtig von einigen Schriftstellern, namentlich von Biot[1], den kleinplattigen Säulen sogar eine gröſsere Wirkung auf den menschlichen Körper zugeschrieben worden ist, als den groſsplattigen Säulen. Stets wird mit Vergröſserung der Oberfläche oder mit Anwendung einer besser leitenden Flüssigkeit die Wirkung auf den menschlichen Körper wachsen müssen, aber allerdings in einem um so mehr verschwindenden Verhältnisse, je gröſser vom Anfange an der Leitungswiderstand des menschlischen Körpers gegen den übrigen Leitungswiderstand war. Aus dem, was über die Intensität des elektr. Stromes und die Umstände, von denen die Verschiedenheit derselben abhängt, vorgetragen worden ist, erklärt sich auch sehr befriedigend ein interessantes Phänomen in der Reihe der physiologischen und diese Erklärung dient zugleich zur Bestätigung unserer Darstellungsweise. Wir haben oben schon bemerkt, daſs die Erschütterungen, welche der menschliche Körper beim Schlieſsen einer Volta'schen Säule erfährt, an Stärke ungemein zunehmen, wenn die naſsgemachten Hände gute Leiter, wie Zinkplatten, eiserne Kugeln u. dgl. umschlieſsen und mit diesen die Pole berühren. Der Grund davon liegt in der mit der bedeutenden Vergröſserung der Berührungsoberfläche des menschlichen Körpers mit dem metallischen Leiter im Verhältnisse stehenden Verminde-

1 Vergl. *Galvanismus* Bd. IV. S. 948. §. 99.

Digitized by Google

rung seines Leitungswiderstandes. Wenn man aber die feuchte Berührungsfläche bloſs auf einer Seite vergröſsert, während man sie auf der andern unverändert läſst, so nimmt die Stärke des Schlages bloſs auf letzterer Seite zu, vermindert sich dagegen auf derjenigen Seite, auf welcher die Berührungsfläche vergröſsert wird, und wenn man das Verhältniſs recht weit vergröſsert, kann der Schlag auf der einen Seite ganz verschwinden, während er auf der andern Seite ausnehmend gesteigert wird. Vergröſsert man aber auch die Berührungsfläche auf dieser Seite immer mehr, so steigt diesem entsprechend die Stärke des Schlages auf der andern Seite, während sie sich auf dieser mindert. Jedenfalls aber bleibt die Stärke des Schlages auf beiden Seiten gröſser, wenn die Berührungsflächen auf beiden Seiten gröſser, als wenn sie kleiner sind[1].

DD. Nobili's Figuren.

Zu den Versuchen über die chemischen Wirkungen der hydroelektrischen Säule sind seit der Bekanntmachung unsers Artikels über den Galvanismus zwei neue Versuchsreihen hinzugekommen, welche Erscheinungen betreffen, die durch ihre eigenthümliche Form sehr charakteristisch sind und auch dazu geeignet scheinen, über die Bewegung und Form der elektrischen Strömungen selbst noch mehr Aufklärung zu verschaffen. Diese Versuche betreffen 1) gewisse bleibende Figuren, welche man nach ihrem ersten Beobachter Nobili, einen um die Lehre von Galvanismus und Elektromagnetismus hochverdienten italienischen Physiker, die *Nobili'schen Figuren* nennt, und 2) gewisse ganz eigenthümliche Bewegungen in den Flüssigkeiten, welche dem elektrischen Strome unterworfen werden. Nobili theilte die erste Nachricht von seinen Beobachtungen im December 1826 mit[2], worauf noch mehrere andere Mittheilungen desselben folgten[3]. Eine zugleich einfache und be-

1 Ritter in G. VII. 478. und in seinen Beiträgen I. 4. S. 276.

2 Ueber eine neue Klasse elektrochemischer Erscheinungen von Leopold Nobili aus der Bibl. univers. Tome XXXIII. Dec. 1826. übers. in Schweigger's Journ. XLIX. 58.

3 Schweigger's Journ. L. 144. LIII. 441. LIV. 40. Vergl. auch Poggendorff Ann. X. 392.

Digitized by Google

queme Vorrichtung, dieſe Erſcheinungen darzuſtellen, wozu Nobili einen beſondern, aber, wie uns ſcheint, entbehrlichen Apparat angiebt[1], iſt, daſs man zwei ſtarke, aber unten in eine feine Spitze ausgezogene Platindrähte durch Körke, welche in zwei ungefähr in einem Zoll Abſtand von einander gebohrte Löcher eines Querholzes eingelaſſen ſind, vertical hindurchgehn läſst, ſo daſs ſie ſich in den Körken auf- und abſchieben laſſen. Unter die Drähte ſetzt man ein gläſernes oder porzellanenes Gefäſs, in welches man eine wohl polirte Metallplatte legt, die man eine oder zwei Linien hoch mit einer beliebigen Flüſſigkeit übergieſst. Die Art, den Verſuch anzuſtellen, iſt eine doppelte. Man ſchiebt nämlich entweder den einen Draht ſo weit hinab, daſs er mit der Platte in Berührung kommt, während die Spitze des andern eine halbe Linie oder noch weniger darüber entfernt bleibt, oder auch man läſst die Spitzen beider Drähte um ſo viel von der Platte entfernt und ſetzt die Drähte jedenfalls mit den Polen einer Volta'ſchen Säule in Verbindung.

Hat man die Spitzen beider Drähte in einiger Enfernung von der Metallplatte gelaſſen, ſo wirkt ſie als eingebrachte metalliſche Zwiſchenplatte mit abgeleiteten Polen, dem poſitiven Drahte gegenüber als negativer, dem negativen Drahte gegenüber als poſitiver Pol, und es bilden ſich beiden Drähten gegenüber Figuren, der Beſchaffenheit des abgeleiteten Poles gemäſs; iſt aber ein Draht mit der Platte in Berührung, ſo wirkt ſie bloſs als Verlängerung des Poldrahtes mit einſeitiger urſprünglicher Polarität und es bildet ſich dann auf ihr bloſs eine einzige Figur, der entgegenſtehenden Drahtſpitze gegenüber und der Polarität der Platte gemäſs. Im letztern Falle erſcheint die Figur deutlicher und entwickelter, im erſtern Falle laſſen ſich die Verſuche dadurch abändern, daſs man die Drähte in eine gröſsere Nähe oder gröſsere Entfernung von einander bringt, wo im erſtern Falle Störungen der Figuren durch einander eintreten, welche über die Art der Bewegung der elektriſchen Flüſſigkeit einigen Aufſchluſs zu geben verſprechen.

Poſitive Figuren nennen wir diejenigen, welche entſtehn, wenn poſitive Polarität in der Metallplatte thätig iſt,

1 Schweigger's Journ. LIV. 40.

sey es als ursprüngliche oder abgeleitete, in welchen beiden Fällen die positiven Figuren dem negativen Drahte gegenüber stehn, das Entgegengesetzte gilt für die Bezeichnung der *negativen Figuren.* Zur Darstellung der positiven Figuren reicht schon eine Säule von 12 Plattenpaaren von einer Oberfläche von einigen Quadratzollen vollkommen hin, zur Darstellung der negativen Figuren muſs man sich im Allgemeinen einer stärkern Säule bedienen oder man muſs gemischte Auflösungen anwenden. Damit die Versuche recht glänzend ausfallen, müssen die Platten recht schön polirt seyn, die schönsten Figuren erhält man auf Platinplatten, demnächst auf Stahlplatten.

Aus der groſsen Reihe von Versuchen Nobili's, die eine groſse Menge von Flüssigkeiten umfassen, heben wir diejenigen aus, die theils über den Vorgang hierbei am meisten Aufklärung geben, theils durch die Eleganz der Producte ein allgemeines Interesse einflöſsen können. Wenn diese Figuren vollkommen ausgebildet sind, so zeigen sie den allgemeinen Charakter, daſs sie aus mehrern concentrischen Zonen bestehn, die sich auf einen Mittelpunct, welcher der Drahtspitze gegenüber liegt, beziehn, Zonen, die zum Theil mit den schönsten Regenbogenfarben nach einem bestimmten Gesetze prangen und durch einen Absatz der positiven und negativen Stoffe der Auflösung (der Metalle, des Kohlenstoffs, Schwefels, der Alkalien einerseits, andererseits des Sauerstoffs, Iods, der Säuren) in höchst dünnen Schichten gebildet werden.

Essigsaures Blei. Auf positivem Gold und Platin bilden sich binnen wenig Augenblicken verschiedene concentrische, mit Regenbogenfarben schillernde Ringe, von ebenso glänzenden Farben, als die Farbenringe Newton's. Diese schillernden Ringe entwickeln sich einer aus dem andern, indem sie nach Art der Wellen fortschreiten; ihre Lebhaftigkeit und Nettigkeit hängt zum groſsen Theile ab von dem Grade von Politur der Oberfläche, auf welcher sie hervortreten. Auf wenig polirter Oberfläche zeigen sie sich gewöhnlich schwach und verwirrt. Sie widerstehn der Wirkung eines mäſsigen Feuergrades, aber verschwinden gänzlich durch die Wirkung der Salpetersäure. Weniger bestimmt, aber viel mannigfaltiger wird die Erscheinung, wenn man die Anzahl der negativen

Digitized by Google

Polardrahtspitzen vermehrt und diese zu regelmäſsigen Figuren, z. B. in Gestalt eines Dreiecks, Vierecks u. s. w., anordnet. So viele Spitzen, so viele Systeme concentrischer, mit Regenbogenfarben schillernder Ringe bilden sich auf der entgegengesetzten Platte, und diese durchkreuzen und schneiden sich nicht bei ihrer Verbindung, wie Wellen thun würden, sondern, wenn sie mit einander in Berührung gekommen sind, vergröſsern sie sich bloſs in der Richtung nach auſsen, so daſs sie einen gemeinschaftlichen Umkreis bilden. Auch positives Silber zeigt die nämlichen Regenbogenfarben, wiewohl minder deutlich als Gold und Platin. Blei, Zinn, Wismuth und Antimon zeigen nichts Bemerkenswerthes.

Essigsaures Kupfer. Auf positivem Golde, Platin und Silber zeigte sich beinahe nichts Bemerkenswerthes. Auf negativem Silber bildeten sich oft 4 concentrische Ringe, welche der Luft ausgesetzt folgende Farbenschattirungen annahmen. Auf einen dunkelrothen Mittelpunct folgt ein rothgelblicher Ring, dann ein minder dunkler blauer, und endlich eine andere Schattirung von Rothgelb, welche einen viel breitern Ring bildet als die ersten. Eine dünne Schicht Salpetersäure macht diesen letztern verschwinden, die drei letztern bleiben zurück mit den gewöhnlichen Farben des Körpers in seinen beiden Zuständen als Oxyd und als Metall. In der Mitte zeigt sich das Oxyd, dann folgt das reine Metall umgeben von einem zweiten Oxydringe.

Essigsaures Kupfer und *Salpeter.* Auf negativem Silber entsteht ein metallisch glänzendes Centrum, dann eine Reihe concentrischer Ringe, die in folgender Ordnung auf einander folgen. Der Mitte zunächst zwei kleine graue Ringe von nicht sehr intensiver Färbung, dann ein weiſser, ein rother, ein graulicher und endlich eine schöne braunrothe Kupferzone. Um diese Zone schlieſst sich ein himmelblauer, mit strahlenförmig sich ausbreitenden Linien gleich einem graduirten Kreise bezeichneter Ring. Diese Strahlen erstrecken sich bis auf den Kupferring. Zuletzt kommt eine zweite ungleich breitere, aber eben so glänzende Kupferzone, umgeben von einem schönen grauen Ringe, welcher die Figur begränzt. Auf Gold und Platin zeigen sich die nämlichen Erscheinungen. Von Einfluſs auf das Gelingen dieses Versuchs ist es, daſs die Metallscheiben nicht zu sehr polirt sind.

Digitized by Google

Brechweinsteinauflösung. Auf positivem Silber fünf von der Mitte ausgehend folgendermaſsen gefärbte Ringe: der erste dunkel, der zweite silberweiſs, der dritte himmelblau, zum Violetten neigend, der vierte silberweiſs, der fünfte violett, aber lichter an seinem äuſsern Rande. Auf negativem Silber fünf andere concentrische Ringe, von welchen der erste schwarz, der zweite gelbröthlich, der dritte schwarz, der vierte hellblau, der fünfte schwach dunkel gefärbt ist.

Von den vielen Substanzen aus den organischen Reichen, die Nobili dem Versuche unterwarf, führen wir nur folgende an, die das Bemerkenswertheste lieferten.

Petersiliensaft. Auf positivem Silber ein dunkelfarbiger Punct im Centrum, umgeben von einem weiſslichen und grünen Stoffe, dann zwei schöne Regenbogen, von denen der eine stärker gefärbt ist als der andere und die von dem Centralpuncte durch eine Zone geschieden sind, welche von einem so durchsichtigen Flore überzogen ist, daſs sie kaum von reinem Silber sich unterscheidet. Hitze ertheilt dem Regenbogen auſserordentliche Lebhaftigkeit und Glanz.

Mangoldsaft (Beta vulgaris Linn.). 1) Saft von der Rübe. Auf positivem Silber in der Mitte ein rother Punct, umgeben von vier Ringen, deren erster gelb, der zweite blau, der dritte roth und der vierte grün ist; weiter nach auſsen zeigen sich zwei oder drei sehr schöne Regenbogen. 2) Saft der Blätter. Auf positivem Silber dieselben Phänomene, bis auf einige Abweichungen hinsichtlich der mittlern Ringe.

Schweinsgalle. Auf negativem Silber im Centrum ein Stoff, der nach innen zu dunkel, nach auſsen gelb gefärbt ist, dann einige verschiedenartig gefärbte Ringe, welche von einem sehr deutlichen Regenbogen umgrenzt sind, der seinerseits in einer blauen Zone sich auflöst. Zwischen dem Regenbogen und den innern Ringen zeigt sich eine Zone von schöner Rosenfarbe.

Serum von Menschenblut. Auf positivem Platin und Gold keine Erscheinung. Auf positivem Silber gegen das Centrum hin einige aschfarbige Ringe, dann eine sehr hellglänzende Silberzone und eine Reihe sehr lebhafte Regenbogenfarben spielender Kreise, deren letzter sich in eine violette Farbenschattirung verliert. Durch die Wirkung der Hitze erhalten diese Regenbogen eine rothe Färbung. Auf negativem Golde,

Digitized by Google

Platin und Silber setzt sich eine weiſse nicht sehr adhaerirende Substanz ab. Auf eine ähnliche Weise wie das Serum verhält sich die *Kuhmilch.*

Diese Figuren haben bei allen Flüssigkeiten und auf allen Metallen, die man anwenden mag und wo sie überhaupt entstehn, das mit einander gemein, daſs sie concentrisch abwechselnd hellere und dunklere, öfters gefärbte Ringe bilden, und zwar gilt dieses sowohl für die positiven als auch für die negativen Figuren. Jedoch überwiegt der positive Pol bei weitem den negativen in dem Vermögen, in der Form solcher Figuren die Substanzen auszuscheiden und auf die Metallplatten abzusetzen, welcher Unterschied schon bei chemischen Praeparaten beträchtlich ist, aber noch ohne Vergleich stärker hervortritt, wenn man organische, z. B. thierische Flüssigkeiken oder Pflanzensäfte, anwendet, mit welchen man sogar nur am positiven Pole ins Auge fallende Phänomene erhält.

Man kann jedoch die Wirkung des negativen Pols theils durch Verstärkung des elektrischen Stromes, theils wenn man Metallauflösungen anwendet, durch Hinzufügung eines Salzes mit alkalischer Basis zu denselben, wie insbesondere des Salpeters, erhöhn. Am wenigsten geeignet zur Hervorbringung dieser Figuren sind die Auflösungen der Alkalien. Als Platten zur Aufnahme derselben scheinen sich nur die negativen Metalle vom Messing an zu eignen, auf positiven Metallen, als Blei, Zinn, Zink, konnte Nobili keine deutlichen Erscheinungen wahrnehmen. Vielleicht liegt dieser Vorzug der negativen Metalle wenigstens in Bezug zu den positiven Figugen nur darin, daſs sie selbst minder leicht von der Flüssigkeit angegriffen werden, mithin dem Absatze der Substanzen eine unverändert bleibende Fläche darbieten.

Im Allgemeinen widerstehn die elektrochemischen Figuren mehr oder weniger der Einwirkung des Reibens. Durch Erhitzung werden ihre Farben auf überraschende Weise belebt. Hat man eine Figur hervorgebracht, welche dem einen Pole entspricht, so kann man sie wieder verschwinden machen, wenn auch nicht in allen Fällen gänzlich, indem man einen elektr. Strom von entgegengesetzter Richtung darauf wirken läſst. Diese Umkehrung giebt zuweilen zur Entstehung neuer Farben Veranlassung, welche den Charakter der ursprünglichen Erscheinung verändern.

Digitized by Google

Eine eigene Reihe von Versuchen hat Nobili über die Formstörung jener elektr. Figuren angestellt, welche beobachtet wird, wenn man auf einer und derselben Metallplatte die beiden Figuren, die positive und negative, neben einander und zwar in einer gewissen Nähe entstehn läſst. In diesem Falle wird keiner von den beiden Polardrähten in unmittelbare Berührung mit der Metallplatte gebracht, sondern sie tauchen neben einander in die zu zersetzende Flüssigkeit in einer Nähe von 1 bis 1,5 Zoll. Nobili bediente sich zu diesen Versuchen vorzüglich einer Mischung von essigsaurem Kupfer und essigsaurem Blei auf Platin. Während jede Figur einzeln dargestellt vollkommen rund ist, so sind dagegen beide unter den obigen Umständen zugleich dargestellt stets mehr oder weniger zusammengedrückt und kleiner als bei der einzelnen Darstellung. Jedenfalls aber bleibt zwischen beiden Figuren ein vollkommen reiner und glänzender Zwischenraum, in welchem die Platte auch nicht von dem geringsten Hauche überzogen erscheint. Zu beiden Seiten dieses Zwischenraums sind die Umrisse der Figuren so scharf abgeschnitten, daſs die dunkle Farbentinte der Platte, welche die Figur am äuſsern Rande umgiebt, hier ganz und gar fehlt. Man kann jedoch diese Störung der Form dadurch verhindern, daſs man die Communication der Flüssigkeit von einer Hälfte der Platinplatte zur andern durch eine gläserne Scheidewand hindert, so daſs der Strom bloſs durch die Platinplatte von einer Hälfte des Gefäſses zur andern gelangen kann. In diesem Falle erstrecken sich beide Figuren ganz ohne Formstörung bis dicht an die Scheidewand.

Stellt man diesen Versuch mit essigsaurem Blei und essigsaurem Kupfer einzeln genommen an, so erzeugen sich ähnliche Phänomene; in diesem Falle aber übertrifft die eine der beiden Figuren die andere bedeutend an Ausdehnung und an Lebhaftigkeit der Farben. Bei Anwendung von essigsaurem Blei ist die positive Figur sehr groſs und besteht aus schönen farbigen Ringen, die sehr fest auf der Scheibe haften, während die negative Figur nur aus einer ziemlich dünnen Schicht von sehr fest anhängenden Bleitheilchen besteht, die sich mit den Fingern hinwegwischen lassen. Das Gegentheil findet beim essigsauren Kupfer statt, in welchem Falle nämlich die negative Figur die ausgezeichnetste und am feste-

sten haftende ist. Es hängt überhaupt von der Beschaffenheit der Auflösungen ab, welche von beiden Figuren bei dieser Art der Anstellung der Versuche die ausgezeichnetste ist, auch kann wohl die eine oder andere Figur gar nicht zum Vorschein kommen, aber auch dann erscheint die zum Vorschein kommende Figur ebenso beschränkt, als ob ihr die andere zur Seite stände, welches anzudeuten scheint, daſs eine wirkliche, aber nur nicht sichtbare Modification des Metalls neben ihr statt finde. Da zwischen den neben einander gebildeten und sich einander in ihrer Ausbildung an der innern einander zugekehrten Seite beschränkenden und störenden Figuren ein vollkommen leerer Zwischenraum ohne Spur von Absatz ist, so kann diese Störung nicht dadurch entstehn, daſs vermöge des Zusammentreffens die Schichten, aus denen sie bestehn, sich gegenseitig zusammendrücken. Nobili sucht daher diese Erscheinung auf eine sehr künstliche Weise aus dem elektr. Zustande der Metallplatten abzuleiten. Er geht in seiner Erklärung von der Erscheinung aus, daſs, wenn zwischen den beiden Drähten eine dünne Glasplatte eingeschoben wird, welche die freie Communication von der einen Hälfte der Flüssigkeit zur andern aufhebt, die Figuren sich vollkommen entwickeln und, statt durch einen beträchtlichen Zwischenraum getrennt zu seyn, sich bis dicht an die Scheidewand erstrecken. Er wirft die Frage auf, ob hierbei nicht eine Art von Refraction des elektr. Fluidums nach Art des Lichts, wenn es aus einem Medium in das andere übergeht, statt finde, sofern auch hier das elektr. Fluidum aus der Flüssigkeit in die Metallplatte überzugehn gezwungen ist. Jedoch fehlen uns noch zu viele Data, um einer solchen Annahme einigen Werth beilegen zu können. Uns scheint die Erklärung des ganzen Phänomens sehr nahe zu liegen. Wenn keine freie Communication zwischen der Flüssigkeit auf der innern Seite in dem Falle, wenn die gläserne Scheidewand eingeschoben ist, statt findet, so können die negativen und positiven Grundstoffe, die, jene vom negativen, diese vom positiven Drahte, nach allen Seiten zurückgetrieben werden, nach der innern Seite zu sich nicht begegnen und wieder mit einander verbinden, und legen sich also auf allen Seiten gleichförmig, jene auf der dem negativen Polardrahte zugekehrten positiven, diese auf der dem positiven Polardrahte zugekehrten

negativen Hälfte der Metallplatte an. Wird dagegen die Scheidewand entfernt, so begegnen sich die einander zunächst liegenden positiven und negativen Substanzen, vereinigen sich wieder mit einander und entgehn der Absetzung auf der Platte auf dieser innern Seite, und nur die an dieser Seite dem Mittelpuncte näher gelegenen Theile tragen zur Bildung der Figuren bei, die also auf der innern Seite beschränkt, verengert erscheinen und einen vollkommen leeren Zwischenraum zwischen sich lassen müssen, während die Theilchen, die auf der äuſsern Seite zurückgetrieben werden, sich frei bewegen und so weit anlegen können, als der elektrische Kegel seine Wirkung überhaupt ausbreiten kann, weshalb die Figuren hier erweitert und regelmäſsig abgerundet erscheinen müssen.

EE. Elektrochemische Bewegungen.

Eine höchst interessante Classe von Erscheinungen, von welchen unter dem Artikel *Galvanismus* noch nicht die Rede gewesen ist und welche von dem Strome der Volta'schen Säule abhängen, verdient hier noch eine nähere Betrachtung, nämlich gewisse sehr gesetzmäſsige Strömungen und Bewegungen in Flüssigkeiten, die unter ganz bestimmten Bedingungen eintreten.

Der Professor Gerboin zu Straſsburg[1] hat die ersten Spuren der hierher gehörigen Erscheinungen beschrieben. Es waren wirbelförmige Bewegungen leichter Körperchen, die sich im Wasser über Quecksilber befanden, welches letztere sich in einer doppelt gebogenen zweischenkligen Röhre befand und das Mittelglied zwischen zwei Golddrähten, die die Pole einer kräftigen Volta'schen Säule in das Wasser leiteten, bildete. Im Augenblicke der Schlieſsung des Kreises erzeugte sich dann an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Golddrahte gegenüber stand und folglich seinerseits selbst als positiver Pol auftrat, augenblicklich eine Oxydschicht und es fand daselbst keine Bewegung statt, dagegen erfolgte in dem andern Schenkel über der Fläche des Quecksilbers, welche dem positiven Drahte gegenüber stand und nun selbst als negativer Pol auftrat, jene wirbelförmige Bewegung im Wasser, die sich an den leichten Körperchen in demselben

1 G. XI. 340.

kund that. Gerbois hatte aber hierbei das wichtigſte Phänomen, von welchem jene Bewegung abhing, nämlich das Aufſteigen des Queckſilbers, überſehn. Der ſchwediſche General Hellwig hatte Erman in Berlin eine hierher gehörige merkwürdige Bewegung eines Queckſilbertropfens unter dem Einfluſſe der Volta'ſchen Strömung gezeigt, die damals ganz räthſelhaft ſchien[1]. Später (1809) eröffnete Erman auf ſeinem eigenen Wege dieſes neue Gebiet von Erſcheinungen, nämlich von ganz eigenthümlichen Bewegungen ſowohl des Queckſilbers als auch anderer Flüſſigkeiten unter dem Einfluſſe der Volta'ſchen Elektricität, und knüpfte daran jene ihm ganz entfallene Mittheilung Hellwig's als ein untergeordnetes Phänomen[2]. So gebührt eigentlich dem Berliner Phyſiker dieſe Entdeckung, die er in einem ſehr intereſſanten Aufſatze ausführlich erörterte. Sechzehn Jahre ſpäter faſste Herschel in England dieſe Entdeckung von neuem auf und machte auf mehrere dabei überſehene Umſtände aufmerkſam[3]. Pfaff erweiterte die Verſuche noch mehr und ſtellte ein neues Erklärungsprincip für dieſelben auf[4]. Schweigger zog ſie mit dem ihm eigenthümlichen Scharfſinne in das Gebiet der elektromagnetiſchen Erſcheinungen[5]. Endlich wendete auch Nobili bei Gelegenheit ſeiner elektriſchen Figuren auf dieſen Gegenſtand ſeine Aufmerkſamkeit und fügte einige neue Thatſachen hinzu[6].

In der Beſchreibung der Erſcheinungen werden wir vorzüglich unſere eigenen Verſuche zum Grunde legen. a) Man übergieſst recht reines Queckſilber in einem paſſenden Gefäſse (einem Uhrglaſe, einer Porzellanſchale) mit einer ſauren, alkaliſchen oder ſalzigen Flüſſigkeit und bringt darauf die Polardrähte einer Volta'ſchen Säule (nach Schweigger am beſten einer groſsplattigen) auf eine der folgenden Arten damit in Beziehung. Man taucht entweder die beiden Drähte, wobei immer Platindrähte gemeint ſind, wenn nicht das Gegentheil bemerkt iſt, in die Flüſſigkeit, ohne daſs ſie mit dem Queckſilber ſelbſt in Berührung kommen, oder man ſetzt das

1 G. XXXII. 289.
2 Ebendas. 261.
3 Schweigger's Journ. XLIV. 191. XLVIII. 46.
4 Ebend. XLVIII. 190.
5 Ebend. 324.
6 Ebend. XLIV. 41.

Digitized by Google

Quecksilber mit dem einen Drahte in unmittelbare Verbindung, den man durch die Flüssigkeit bis in dasselbe hineinreichen läſst, während der andere bloſs in die Flüssigkeit taucht. Im erstern Falle treten in der Quecksilbermasse selbst zwei abgeleitete Pole ganz so, wie in der Metallplatte, auf welcher Nobili seine Figuren darstellt, auf; im zweiten Falle ist das Quecksilber selbst nur als Verlängerung des Pols des Drahtes, mit welchem es in Verbindung steht, zu betrachten. Der dritte Hauptfall, wo beide Drähte in das Quecksilber eintauchen und in diesem der Kreis unmittelbar geschlossen wird, bietet keine besondern hierher gehörigen Erscheinungen dar. Die mechanischen Vorrichtungen, um diese Versuche mit aller Sorgfalt anzustellen, bieten sich jedem mit dergleichen Untersuchungen einigermaſsen vertrauten Physiker von selbst dar. Schweigger hat einen ganz bequemen Apparat dazu angegeben [1]. Es kommt wesentlich hierbei darauf an, daſs man mit aller Behutsamkeit den einen oder den andern Draht oder beide Drähte dem Quecksilber nähern, in leise Berührung damit bringen, wieder zurückziehn, auch in beliebiger Richtung gegen dasselbe bewegen könne.

Wir wollen als ersten Hauptfall denjenigen betrachten, der durch die Zeichnung einigermaſsen anschaulich gemacht ist, Fig. 17. wo der äuſsere punctirte Kreis den Rand des Gefäſses (Uhrglases), bis an welchen die salzige Flüssigkeit nahe hinreicht, der innere Kreis den Umriſs der Quecksilbermasse, die ellipsenartigen Linien darauf die Störung in der über dem Quecksilber befindlichen Flüssigkeit, und + und — die Polardrähte der Säule, wovon der negative in das Quecksilber selbst, der positive diametral gegenüber in die Flüssigkeit eintauchen, darstellt. Ist dann, wie in dem hier betrachteten Falle, die Flüssigkeit eine Auflösung von reinem Kali oder kohlensaurem Kali, so tritt in dem Augenblicke, wo der Kreis auf die angegebene Weise geschlossen wird, eine *auffallende Abplattung*, eine Ausdehnung des Quecksilbers ein, dessen Durchmesser bei starken Säulen (z. B. von 100 Plattenpaaren von 3 bis 4 Quadratzoll Oberfläche) sich fast um $\frac{1}{4}$ vergröſsert und dessen Höhe in demselben Verhältnisse abnimmt, und mit dieser Abplattung, wobei das Quecksilber seinen Glanz unverändert be-

1 Dess. Journ. XLVIII. 339.

Digitized by Google

hält, der, wenn er etwas getrübt war, vielmehr nun wieder hergestellt wird, tritt zugleich ein lebhafter Strom in der Flüssigkeit von dem positiven nach dem negativen oder dem in das Quecksilber eingesenkten Drahte ein, den wir in unserer Abhandlung nach Herschel's Vorgange durch den Namen des *positiven* Stromes bezeichneten (was aber Schweigger vielmehr eine Drehung der *negativ elektrisirten* Flüssigkeit nennt), ein Strom, der in *gerader* Richtung über das Quecksilber weggeht, auf beiden Seiten in einer gekrümmten Richtung der Krümmung des Uhrglases gemäſs zurückkehrt und in gewisser Hinsicht einen doppelten Strom darstellt. Die Abplattung des Quecksilbers ist in einzelnen Fällen besonders bei stärkeren Säulen mit einer Art von Wälzung der Quecksilberkugel verbunden, wobei der Rand des Quecksilbers gleichsam undulirt und sich faltet. Wird der negative Draht wieder aus dem Quecksilber herausgezogen, aber in der Lauge gelassen, so dauert dieser Strom noch fort, nimmt sogar an Schnelligkeit zu und wird nun besonders durch die Gasblasen, die sich am negativen Drahte reichlich entbunden hatten und nun in den Strom hineingezogen werden, auffallender. Doch hört dieser Strom nach einiger Zeit gänzlich auf, *wobei sich in dem Augenblicke des Aufhörens das Quecksilber etwas zusammenzieht.* Zieht man die Drähte aus der Lauge heraus und schlieſst von neuem den Kreis in derselben, so stellt sich der Strom nicht wieder ein, sondern alles verhält sich so, wie nachher für diese Art der Schlieſsung angegeben werden wird.

Je länger der negative Draht mit dem Quecksilber in Verbindung geblieben ist, um so länger dauert auch der positive Strom nach aufgehobener Verbindung des negativen Drahtes mit dem Quecksilber fort, bei fortdauernder Schlieſsung des Kreises in der Lauge, und um so schneller ist der Strom. Dieser Erfolg beweist deutlich, daſs durch die Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte dasselbe eine Modification angenommen hat, die zur Unterhaltung jener Bewegung eine Zeit lang fähig macht. Herschel hat nachgewiesen, daſs diese Veränderung auf einer Legirung mit Kalium beruht, welches durch den Einfluſs des Stromes reducirt sich mit dem Quecksilber am negativen Pole verbunden hat. Ein entscheidender Beweis dafür liegt darin, daſs, wenn zu einer bekannten

Digitized by Google

Menge reinen Quecksilbers gleich Anfangs etwas Amalgama eines Alkalimetalls zugesetzt wurde, sich ein starker positiver Strom in dem Augenblicke erzeugte, wo der Kreis in der Lauge geschlossen wurde, obgleich keiner der Drähte das Quecksilber berührte. Dieses Alkalimetall muſs sich jedoch, wenn das Quecksilber auſser Berührung mit dem negativen Drahte kommt, wieder zu Alkali oxydiren, und in dem Maſse, als dieses geschieht, hört die Strömung auf. Hat man daher die Drähte aus der Lauge herausgenommen und schlieſst mit denselben wieder den Kreis nur in dieser, so wird nur ein positiver Strom mitwirken, wenn dieses früher geschehn ist, als das Quecksilber durch Oxydation des Kaliums zu seiner ursprünglichen Reinheit zurückgekehrt ist. So sehr werden die Erfolge durch die vorangegangenen Versuche modificirt, und nimmt man darauf nicht gehörige Rücksicht, so trifft man da nur Anomalieen, wo doch ein strenges Gesetz herrscht. Herschel hat auch Versuche über eine ähnliche Wirkung anderer Legirungen, die durch die vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte unter entsprechenden Flüssigkeiten gebildet werden, angestellt und gefunden, daſs die mit dem Quecksilber in Verbindung tretenden Metalle jene Erscheinung um so auffallender darboten, je elektropositiver sie selbst sind. Ein Milliontheilchen der ganzen Masse des Quecksilbers im Kalium ertheilte ihm schon diese Eigenschaft. Bei $\frac{1}{1000000}$ Natrium bemerkte man noch eine deutliche Ausströmung vom positiven Pole; Ammonium ertheilte aber diese Eigenschaft nicht, dagegen Baryum, dessen Legirung mit dem Quecksilber schon dadurch bewirkt wurde, wenn man nur eine Säule von 8 Paaren und salzsauren Baryt anwendete, ebenso Strontium und Magnium [1]. Aendert man die Lage des positiven Drahtes gegen den negativen in den vorigen Versuchen ab, so ändert sich damit zugleich die Gestalt und Richtung des Stromes. Wird nämlich der positive Draht, der in den vorigen Versuchen dem negativen diametral gegenüber stand, allmälig um das Quecksilber herumgeführt, so folgt der Strom stets der Linie, die man vom positiven nach dem negativen Drahte ziehn kann, und bald verwandelt sich der Strom nur in einen einfachen Strudel, in-

---

1 Schweigger's Journ. LIV. 41.

dem er in einer kleinern Curve nicht durch die Mitte des Quecksilbers sich hinzieht und nur auf der einen Seite des Uhrglases von dem negativen zu dem positiven Drahte zurückſlieſst u. s. w.

Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt, auch der positive Draht in dasselbe eingesenkt, so zieht sich in demselben Augenblicke die Quecksilberkugel zusammen und nimmt die Krümmung an, die sie auch sonst in der Flüssigkeit haben würde, und es ist dann überhaupt alles zur relativen Ruhe gekommen.

Wird der bisher beschriebene Fundamentalversuch auf die entgegengesetzte Weise angestellt, und zwar so, daſs der negative Draht in die Lauge eintaucht, der positive dagegen mit dem Quecksilber in Berührung kommt, so findet in dem Augenblicke der Berührung eine deutliche Zusammenziehung des Quecksilbers statt; das Quecksilber nimmt eine gröſsere Convexität an, aber fast ebenso schnell überzieht sich dasselbe mit einer Oxydhaut; sein Glanz verliert sich, es wird zähe, steif, so daſs man es hin und her ziehn und ihm jede Gestalt geben kann; dabei breitet es sich allmälig in einen gröſsern Raum aus und seine im ersten Augenblicke, aber nur vorübergehend, convexer gewordene Oberfläche wird stufenweise flacher. Das Phänomen der Oxydation modificirt sich nach der Stärke des elektr. Stromes. Bei Anwendung einer Säule von 24 Plattenpaaren von 2″ Durchmesser spielt die Oxydschicht mit den schönsten Regenbogenfarben, besonders mit einer tombackbraunen und blauen Farbe, das Quecksilber oxydirt sich nur auf den ersten Grad, aber schon bei Anwendung einer Säule von 50 Plattenpaaren ist die Schicht gelb, es bildet sich sogleich Oxyd, noch auffallender geschieht dieses durch eine Säule von 120 Plattenpaaren, besonders an der Stelle, die dem negativen Drahte gerade gegenübersteht, und die Erstarrung und das Zähewerden des Quecksilbers ist dann gleichsam der Effect eines Augenblickes. Während der Berührung des Quecksilbers mit dem positiven Drahte ist unsern Beobachtungen zufolge keine Spur von Strömung zu bemerken. Nach Herschel[1] soll sie jedoch unter der Oxydkruste statt finden und ebenso sichtbar werden, als die vorhin beschrie-

1 Schweigger's Journ. XLIV. 191.

bene positive Strömung, wenn man die Bildung dieser Oxydschicht durch Hinzufügung einiger Tropfen schwacher Salpetersäure hindert. Man begreift indeſs nicht, wie die Hinzufügung einiger Tropfen Salpetersäure zu einer alkalischen Lauge eine solche Wirkung haben kann, wenigstens wollte es uns nicht gelingen, auch scheint Herschel hierbei Strömungen des Quecksilbers im Auge gehabt zu haben, von denen bis jetzt überall noch nicht die Rede gewesen ist. Sie sollen in diesem Falle vom negativen Pole ausgehn.

Wird der positive Draht wieder auſser Berührung mit dem Quecksilber gebracht, der Kreis bleibt aber in der Lauge geschlossen, so beharrt das Quecksilber in jener zähen, starren Beschaffenheit und Ausbreitung, mit seiner Oxydschicht bedeckt, und auſser der Gasentbindung ist nichts zu bemerken. So wie aber der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wird, zieht sich das Quecksilber mehr oder weniger schnell wieder zusammen, in dem Verhältnisse, in welchem die Oxydhaut verschwindet, erhält wieder seinen alten Glanz und runde Form, und in demselben Augenblicke, wo die letzte Spur von Oxyd verschwunden ist, tritt dann wieder, wie im Nu, die Ausbreitung und Abplattung, die vom negativen Drahte abhängt, ein und der lebhafte positive Strom beginnt, welcher den letzten Rest des schwarzen oder gelben Oxyds, das sich bisweilen noch vorfindet, mit Schnelligkeit über das Quecksilber treibt und mit sich fortreiſst.

Eine ähnliche Wirkung, als durch Berührung mit dem negativen Drahte, kann man auch dadurch hervorbringen, daſs man das Quecksilber, das sich zuvor am positiven Pole mit Oxyd bedeckt hatte, nach Oeffnung des Kreises mit einem reinen, nicht elektrisirten Drahte berührt, der in der galvanischen Spannungsreihe dem positiven Pole näher steht, als das Quecksilber, und zwar um so auffallender, je elektropositiver das Metall ist (doch soll Zinndraht wirksamer als Zink seyn). Man sieht dann das Oxyd schnell am Berührungspuncte verschwinden, als wenn es verschluckt würde, und das umliegende Quecksilber sich von allen Seiten nach dessen Stelle stürzen, während auf der Oberfläche sich ein Strom nach dem Drahte hin bildet. Hier wird in Folge einer einfachen Kettenwirkung aus dem positiven Drahte, dem negativen Quecksilber und der Flüssigkeit das Quecksilber ebenso in einen

negativen Zustand versetzt, wie mit dem negativen Polardrahte, und der Erfolg ist daher auch derselbe.

b) Wird gleich anfangs ohne vorhergegangene Berührung des Quecksilbers mit einem Polardrahte der Kreis bloſs in der Lange geschlossen, so hat man gleichsam in dem Quecksilber beide unter a) isolirt betrachtete Fälle vereinigt, indem es sich nach dem Gesetze der Zwischenplatten in zwei Zonen theilt und folglich zugleich als positiv und negativ wirkt. Allein nach Beschaffenheit der Umstände überwiegt bald mehr die positive, bald mehr die negative Zone, so daſs bald mehr die Erscheinungen der einen, bald mehr der andern Art der vorigen Schlieſsung beobachtet werden, indem die Ströme oder Wirbel der einen Zone dann gleichsam die der andern verschlingen. Daher rührt es dann auch, daſs die Angaben der Beobachter über die Richtung und selbst über das Vorhandenseyn der Strömungen in diesem Falle sehr abweichend von einander sind. Wir konnten in unsern Versuchen keine Spur von Strömung bemerken, nur bot sich uns als ganz constantes Phänomen eine Anziehung des Quecksilbers durch den positiven Pol, die sich als eine ruckweise Bewegung seiner ganzen Masse zeigte, dar. Dieses Ausbleiben der Strömungen in unsern Versuchen hing ohne Zweifel von einer nicht gehörigen Wirksamkeit unserer Säulen ab. Schweigger[1], der groſsplattige Säulen von 5″, mitunter von 9″ im Durchmesser anwendete, erhielt auch in diesem Falle wirbelförmige Strömungen und, was bemerkenswerth ist, auch in einer Lösung von kohlensaurem Kali nach dem Typus derjenigen in der Schwefelsäure, wie auch Erman früher sie schon erhalten hatte.

Nobili[2] will bei dieser Art der Schlieſsung, wenn die Platindrähte vertical über eine Schicht reinen Quecksilbers von 2 bis 3″ im Durchmesser in die einige Linien über demselben stehende Flüssigkeit so eingetaucht werden, daſs ihre Spitzen nun durch einen sehr kleinen Zwischenraum von der Quecksilberfläche getrennt sind, folgende Erscheinungen, und zwar bei Anwendung des Glaubersalzes, beobachtet haben. In dem Fig. 18. Augenblicke, daſs man die Drähte mit der Säule von mittel-

1 A. a. O. S. 329.

2 Schweigger's Journ. LIV. 58.

mäſsiger Stärke in Verbindung setzt, wird man sogleich im Umkreise der den Polspitzen gegenüberliegenden Puncte der Quecksilberfläche (sie mögen respective n und p heiſsen, je nachdem sie dem negativen oder positiven Drahte gegenüber stehn) zwei Systeme von Strömen sich bilden sehn. Betrachtet man das Quecksilber unter einem schiefen Winkel, so wird man auf seiner Oberfläche Grenzen wahrnehmen, welche den äuſsern Umrissen der gewöhnlichen elektrochemischen Figuren entsprechen, die entstehn würden, wenn man dem Quecksilber eine feste Metallplatte substituirte. Diese Grenzen bestehn aus ovalen Linien oder Streifen n′, n″, n‴ und p′, p″, p‴, innerhalb welcher das Quecksilber ein wenig niedriger steht, als auſserhalb. Diese Streifen sind deutlicher an den innern einander zugekehrten Seiten p′, p″ und n′, n″, als an den äuſsern von einander abgewandten p‴ und n‴. In der Mitte o o nimmt man auf dem Quecksilber eine oder zwei Linien wahr, wo seine Oberfläche bewegt erscheint, wie durch das Zusammentreffen zweier entgegengesetzter Ströme. Selten sind die von dem Mittelpuncte p und n ausstrahlenden Ströme von gleicher Kraft; im Allgemeinen sind die vom Puncte p ausgehenden die wirksamsten, oder, wenn sie das nicht gleich zu Anfange des Versuchs sind, so werden sie es doch bald. Fast jederzeit bildet sich in p etwas Oxyd, welches durch den Strom nach auſsen fortgerissen wird, nach dem Umkreise p′, p″, p‴, wo es sich mehr oder minder anhäuft. Das Oxyd, welches über p′ p″ hinausgetrieben wird, breitet sich mehr oder weniger rasch nach der Gegend des negativen Poles hin aus, wo dasselbe absorbirt und reducirt wird, sobald die Ströme dieses Theils bis zu dem Grade an Kraft abnehmen, daſs sie der Ausbreitung kein Hinderniſs mehr entgegenstellen. Die Masse der Flüssigkeit theilt sich nicht selten in zwei ungleiche Hälften, so daſs die eben durch o o bezeichnete Linie in die m m übergeht. Das Verhalten Fig. 19.
ist aus der Zeichnung leicht zu erkennen.

Wie in einer Kalilösung zeigen sich diese Erscheinungen auch auf gleiche Weise in Baryt, Strontian und Kalkwasser und in den Auflösungen der Salze mit solcher alkalischer Grundlage, doch in schwächerem Grade. Am schwächsten erscheinen sie im Wasser, doch gleichfalls nach demselben Typus.

c) Auf eine ganz entgegengesetzte Art verhalten sich die

Digitized by Google

Erscheinungen unter denselben Umständen, wenn das Quecksilber mit einer sauren Flüssigkeit bedeckt ist, und zwar zeigt sich dieser Gegensatz am deutlichsten bei Anwendung der *concentrirten Schwefelsäure*. Auch hier wollen wir die verschiedenen Hauptfälle unterscheiden.

α) Wird der Kreis bloſs in der Säure geschlossen, so findet eine sehr merkliche Anziehung des Quecksilbers durch den negativen Pol statt, die in einer gleichsam zuckenden Bewegung desselben besteht und bei starken Säulen mit einer Abplattung und zugleich sichtbaren Verlängerung und Verschmälerung verbunden ist, die sich am stärksten zeigt, wenn die Drähte in diametraler Richtung des Quecksilbers einander gegenüber und zugleich dem Quecksilber so nahe als möglich stehn. Zugleich beginnt ein sehr lebhafter, negativer Strom,
Fig. 20. wie ihn die Zeichnung darstellt, nämlich von dem negativen nach dem positiven Drahte hin in zwei ganz ähnlichen Strudeln oder Ellipsen, als oben unter a) beschrieben wurden, nur bei gleicher Stärke der Säule mit einer viel gröſsern Schnelligkeit und in einer gröſsern Ausdehnung. Der Strom wird lebhafter, wenn die Masse des Quecksilbers zwischen beiden Polen vermehrt wird. Dieser Strom dauert fort ohne Verminderung in seiner Richtung und Stärke, so lange die Säule in Wirksamkeit ist, und hört nur auf mit ihrer Erschöpfung. Das Quecksilber wird hierbei in seinem Ansehn nicht merklich getrübt. Auch sehr schwache elektrische Ströme können durch die Strömungen in der Schwefelsäure sichtbar gemacht werden.

β) Im Augenblicke der Berührung des Quecksilbers mit dem negativen Drahte tritt statt der Abplattung, wie dieses der Fall in der alkalischen Lauge ist, eine auffallende Zusammenziehung des Quecksilbers ein, bei starken Säulen nimmt die Höhe des Quecksilbers wohl um $\frac{1}{4}$ der unsprünglichen zu; der Strom hört augenblicklich auf und das Quecksilber bedeckt sich auf seiner ganzen Oberfläche mit Luftblasen. Dieselbe Veränderung des Quecksilbers tritt auch ein, wenn der negative Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht und mit dem positiven Drahte der Kreis in der Säure geschlossen wird, nur daſs es in diesem Falle gar nicht zur Strömung kommt.

γ) Wird dagegen der positive Polardraht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht, so tritt sogleich auffallende Ab-

plattung und Ausbreitung des Quecksilbers ein, doch ohne daſs es sich mit einer eigentlichen Oxydschicht bedeckt; zugleich verwandelt sich jener lebhafte, aus zwei elliptischen Strudeln bestehende Strom (c α) in einen eine gerade Richtung nehmenden von etwa vierfach geringerer Geschwindigkeit.

δ) Wird, während der negative Draht mit dem Quecksilber in Berührung bleibt (β), auch der positive Draht mit demselben in Berührung gebracht, so hört die vorhergegangene Zusammenziehung des Quecksilbers auf. Dieses breitet sich zu derjenigen Krümmung aus, die ihm ursprünglich zukommt, und die Gasblasen, womit das Quecksilber bedeckt war, weichen von derjenigen Stelle, wo der positive Draht das Quecksilber berührt, plötzlich über die Oberfläche zurück, so daſs diese wieder rein und glänzend erscheint, doch tritt keine weitere Strömung ein. Die Abplattung nimmt zu über den ursprünglichen Durchmesser, wenn nunmehr der negative Draht herausgezogen wird, die noch vorhandenen Gasblasen kehren wieder nach der Eintauchungsstelle des positiven Drahtes zurück und der vorhin beschriebene Strom beginnt.

Nach Herschel sollen ähnliche negative Ströme, wie in der Schwefelsäure, bei der Schlieſsung des Kreises in der Flüssigkeit und den Auflösungen derjenigen Salze, deren Basis elektronegativ ist, also namentlich in den Auflösungen der Salze, deren Basis thonartig ist, und der gewöhnlichen Metallsalze noch auffallend genug erfolgen.

d) Wir haben bisher nur von einseitigen Strömen gehandelt, nach Herschel und Schweigger sollen aber auch gleichzeitig entgegengesetzte Ströme statt finden können. Bei einer groſsartigen, jedoch nach einigen Tagen nicht mehr mit allzuheftiger chemischer Kraft wirkenden Volta'schen Säule (bemerkt Schweigger[1]) gelingt es leicht, wenn ein durch Salpetersäure gereinigtes Quecksilber dünn mit gemeiner Kalilauge übergossen wird, die *vierfachen Wirbel* wohl halbe Stunden lang und darüber zu erhalten, welche dem ursprünglichen Typus elektromagnetischer Drehungen gemäſs sind. Auch bei Anwendung schwefelsauren Natrons, sowie des schwefelsauren Kali's sah Schweigger oft auf eine sehr aus-

1 Dessen Journ. LIV. 66.

Digitized by Google

gezeichnete Weise diese *vierfachen Wirbel.* Am auffallendſten boten ſie ſich in einem Falle in einer Löſung des kohlenſauren Kali's dar. Die Zeichnung ſtellt das Phänomen ſelbſt dar. Die punctirte Linie bezeichnet die Grenze der in ganz dünner Lage aufgegoſſenen Flüſſigkeit, worein die Polardrähte P und Q tauchen, ohne das Queckſilber zu berühren, welches bei Eintauchung derſelben die Geſtalt o m p r q n o annahm. Elektriſchen Geſetzen gemäſs muſs ſich das Queckſilber in zwei Zonen theilen, ven denen die eine m n q r p die poſitive iſt, welche gewöhnlich die gröſste Ausdehnung hat, während o m n die negative Zone darſtellt. Von letzterer weicht alle Flüſſigkeit zurück (wenn man nicht allzuviel aufgegoſſen hat), o m n erſcheint als rein glänzende Queckſilberfläche und die Wirbel finden alſo bloſs zur Seite ſtatt in der Richtung, wie ſie durch die Pfeile angegeben iſt, und zwar auf jeder Seite in entgegengeſetzter Richtung, nämlich links um und rechts um. Schweigger weiſet bei dieſer Gelegenheit zugleich nach, daſs die Pfeile, durch welche Nobili die von ihm beobachteten Figuren auf der Oberfläche des Queckſilbers darſtellt, gleichfalls auf ſolche vierfache Wirbel hindeuten.

Fig. 21.

e) Wendet man ſtatt des reinen Queckſilbers Legirungen deſſelben an, ſo zeigen ſich die Erſcheinungen im Weſentlichen als dieſelben, nur ſind die Strömungen in dem Verhältniſſe, in welchem das Queckſilber dadurch zäher geworden iſt, weniger auffallend. Herschel behauptet, daſs, wenn man das Queckſilber einen Augenblick mit dem Ende eines reinen Zinkdrahtes berührt oder wenn man einen kleinen Antheil feſten Zink-Amalgams hinzufügt, ſo wenig als man mit einer kleinen Nadelſpitze nehmen könne, eine poſitive Strömung entſtehe, wenn auch nur in der alkaliſchen Löſung, womit das Queckſilber übergoſſen iſt, der Kreis geſchloſſen werde. Metalle, welche noch elektropoſitiver als das Zink ſind, wie Kalium, Natrium, ſollen noch viel ſtärker in derſelben Art wirken, ſolche, welche negativer ſind, ſchwächer in dem Verhältniſſe ihrer gröſsern Negativität, ſo daſs ſchon beim Kupfer keine ſolche Wirkung mehr eintritt. Für das Zink haben wir nichts von der Art beobachten können, dagegen zeigt die Legirung mit Zinn das Ausgezeichnete, daſs ſchon 0,0001 durch die augenblickliche Ausbreitung unter einer Alkalilauge bei der Berührung mit dem poſitiven Drahte

und durch die Bildung einer zähen grauen Haut von einigem Metallglanze angezeigt wird.

Die *Gegenwart kräftiger Magnete* äuſsert nach Herschel's [1] Versuchen durchaus keinen Einfluſs auf die Hervorbringung, Aufhebung oder Abänderung jener Strömungen. Ferner gehn in zwei Zellen, die nur in eine sehr dünne, nichtleitende Scheidewand (ein dünnes Glimmerblättchen) geschieden sind, die Erscheinungen ungestört und so, als ob die Nähe der Strömungen in der andern Zelle gar keinen modificirenden Einfluſs äuſserte, vor sich, wenn man in jeder Zelle die Polardrähte einer besondern Zelle gleichzeitig wirken läſst. Besonders verdienen nun noch gewisse auffallende Bewegungen des Quecksilbers in einigen dieser Versuche eine Erwähnung. Hellwig war der erste, der solche Bewegungen des Quecksilbers beobachtete. Ein Quecksilbertropfen von 2—3‴ Durchmesser sey mit einer geringen Menge Wasser bedeckt und umgeben, der negative Polardraht einer Volta'schen Säule sey irgendwo in dieses Wasser getaucht, der positive gleichfalls, aber ganz nahe am Quecksilbertropfen. Dieser Tropfen verändert augenblicklich seine sphärische Gestalt und zieht sich in die Länge gegen den positiven Draht zu, bis er ihn berührt hat. Wenn dieses geschehn ist, springt der verlängert gewesene Theil schnell zurück und die Masse rundet sich wieder ab; darauf dehnt sie sich wieder aus, aber in einer Richtung, die mit der vorigen einen rechten Winkel macht, endlich nimmt sie wieder die Kugelgestalt an, und darauf beginnt die Reihe dieser Veränderungen in derselben Ordnung aufs neue. Die Schnelligkeit dieser doppelt entgegengesetzten Vibrationen ist so groſs, daſs man sehr viele Mühe hat, sie deutlich wahrzunehmen, das Auge sieht gewissermaſsen nur einen flammenden Stern, dessen vier Strahlen die zwei senkrechten Achsen der Ellipsoide sind, in die das sphärische Quecksilber mit continuirlicher Abwechselung umgestaltet wird.

Auf eine andere Weise und anders modificirt haben wir ähnliche Bewegungen des Quecksilbers folgendermaſsen dargestellt.

Wenn man nämlich in dem oben unter a) beschriebenen Versuche, während der negative Draht das Quecksilber unter

---

1 Schweigger's Journ. XLIV. 186. XLVIII. 248.

der Kalilauge berührt, wodurch dasselbe stark abgeplattet wird, den positiven Draht, durch welchen der Kreis in der Lauge selbst geschlossen war, dem Quecksilber so nahe bringt, daſs er eben die Oberfläche desselben berührt, so zieht sich das Quecksilber wie durch eine Zuckung schnell zurück und geht sogar in Folge des Beharrungsvermögens noch über die Convexität hinaus, welche der Berührung an und für sich zukommt. Da es hierdurch wieder auſser Berührung mit dem positiven Drahte kommt, der negative Draht aber wieder auf Ausbreitung hinwirkt, so wechselt jene Zusammenziehung sogleich wieder mit einer Ausdehnung ab, das Quecksilber kommt von neuem mit dem positiven Drahte in Berührung, es tritt abermals Zusammenziehung ein und man glaubt ein kleines Herz vor sich zu sehn, dessen Contraction (Systole) regelmäſsig mit seiner Expansion (Diastole) abwechselt. Diese Pulsationen des Quecksilbers folgen bei Anwendung stärkerer Säulen mit auſserordentlicher Raschheit auf einander (wohl 15 und mehr auf die Secunde) und haben einen sehr groſsen Umfang, am Ende kommt das Quecksilber in die unregelmäſsigsten Bewegungen, hüpft aufwärts und seitwärts und sein Umfang nimmt alle mögliche Gestalten an. Selbst mit wenigen Plattenpaaren kann man diese Pulsationen hervorbringen, die aber dann langsamer und regelmäſsiger auf einander folgen.

Auch unter den Säuren kann man durch ein entgegengesetztes Verfahren diese Erscheinung hervorbringen. Unter diesen hat bekanntlich der negative Draht Zusammenziehung, der positive Draht Abplattung und Ausbreitung des Quecksilbers zur Folge. Berührt man also das Quecksilber mit dem negativen Drahte und nähert mit fester Hand von oben herab durch die Säure den positiven Draht dem Quecksilber bis zur Berührung, so tritt in demselben Augenblicke Expansion des Quecksilbers ein, dadurch kommt dieses auſser Berührung mit dem positiven Drahte, es tritt also eine neue Zusammenziehung vermöge der Wirkung des negativen Drahtes ein, der mit dem Quecksilber in Berührung geblieben ist. Eben damit erneuert sich aber die Berührung mit dem positiven Drahte, der eine neue Expansion veranlaſst, und so wechselt das Quecksilber abermals zwischen Zusammenziehung und Ausdehnung, wie ein schnell pulsirendes Herz.

Gieſst man in eine doppelt gebogene zweischenklige Röhre

Digitized by Google

die ungefähr ¼ Zoll im Lichten haben kann, Quecksilber, bis es in jedem senkrechten Schenkel eine Höhe von 1½ bis 2 Zoll erreicht hat, bringt über jede dieser Quecksilbersäulen eine 2 bis 3 Zoll hohe Wassersäule, leitet in diese die Polardrähte einer kräftigen Säule und schlieſst nun den Kreis, so erzeugt sich an dem Ende des Quecksilbers, welches dem negativen Drahte gegenüber steht, augenblicklich eine Oxydschicht und es findet in diesem Schenkel keine wahrnehmbare Bewegung statt. Im entgegengesetzten Schenkel verändert sich aber die Convexität seiner Fläche, es steigt gegen die Ränder, während das Wasser in den capillären Raum zwischen die Wände und das Quecksilber eindringt, wieder zurücktritt und so abwechselnd herab- und heraufströmt. Das Einstreuen irgend eines leichten Pulvers in das Wasser macht dieses continuirliche Ebben und Fluthen in lothrechter Richtung noch anschaulicher. Es bildet sich nebenbei dicht an den Wänden der Röhre ein ringförmiger Wirbel, wo die beigemengten fremdartigen Theilchen mit groſser Schnelligkeit durch den Impuls des steigenden und fallenden Wassers bewegt werden. Steht die Röhre vollkommen senkrecht, so halten sich die im Wirbel bewegten Körperchen an den Wänden und bilden eine kreisförmige Zone. Ist die Röhre etwas rückwärts oder seitwärts geneigt, so sammeln sie sich an der entgegengesetzten Seite an und bilden eine Art von Wirbel, der sich mitten im Wasser um seine Achse dreht. Bei jeder Verrückung des Platindrahts verändert sich die Bewegung der kleinen Körper, so wie die Gestalt und Lage des Wirbels, und zwar fliehen gleichsam die kleinen Körperchen von der Spitze des Drahts, der sie, so wie er sich bewegt, vor sich her treibt[1].

Ueber die Ursache dieser interessanten Phänomene sind sehr verschiedene Ansichten aufgestellt worden, und wir gestehn aufrichtig, daſs eine befriedigende Erklärung derselben noch fehlt, auch so lange noch fehlen wird, als das geheimniſsvolle Wesen der Elektricität, die Art seiner Leitung und Bewegung überhaupt noch so wenig aufgeklärt ist.

Erman, der zuerst jene sonderbaren Strömungen in Säuren und alkalischen Laugen beobachtete und sie unter dem

1 Gerbois in G. XI. 342.

Gesichtspuncte von galvanischen Figuren auffaſste, hat sich auf keine nähere Erklärung derselben eingelassen. Dagegen hat er andere, in diesen Versuchen vorkommende Erscheinungen aus einer durch den elektrischen Strom bewirkten Vermehrung der Adhaesion zwischen dem Quecksilber und der Flüssigkeit, namentlich dem Wasser, zu erklären gesucht. Indeſs stimmen die Erscheinungen mit dieser Erklärung nicht überein. Wenn auch Erman auf der einen Seite die Erscheinung, daſs ein kugelförmiger Wassertropfen, der auf dem Quecksilber sich befindet, in welchem der negative Draht eintaucht, sich in demselben Augenblicke über die ganze Oberfläche desselben ausbreitet, wenn durch den positiven Draht der Kreis im Wasser geschlossen wird, als den Ausdruck einer vermehrten Adhaesion geltend machen kann, so ist doch seine Reduction des gerade entgegengesetzten Verhaltens der Schwefelsäure, wenn sie derselben Art des Verfahrens unterworfen wird, welche nämlich zuvor als ein Schleier über das ganze Quecksilber ausgebreitet sich vielmehr im Augenblicke der Schlieſsung von allen Seiten nach dem positiven Drahte hin zusammenzieht, sehr gezwungen. Auch hat Erman überhaupt in seiner Erklärung auf das entgegengesetzte Verhalten der chemisch entgegengesetzten Flüssigkeiten gar keine Rücksicht genommen.

Herschel sieht alle Erscheinungen als abhängig von den Bewegungen der Theilchen des Quecksilbers an. In Beziehung auf die negativen Strömungen soll es der von dem negativen Drahte ausgehende elektrische Strom seyn, der die Theilchen des Quecksilbers zurücktreibt, so daſs sie von dem Puncte aus, der dem negativen Drahte am nächsten steht, auf seine Oberfläche ausstrahlen. Für die positiven Ströme aber, die in den alkalischen Laugen oder in den Auflösungen von Salzen, welche eine alkalische Grundlage haben, eintreten, nachdem das Quecksilber zuvor mit dem negativen Drahte berührt und dadurch eine Legirung desselben mit dem in hohem Grade elektropositiven Metalle eingeleitet worden ist, hat er ein anderes Erklärungsprincip zu Hülfe genommen. Es ist sehr *wahrscheinlich* möglich, so lautet diese Erklärung[1], daſs ein stark elektropositiver Körper, wie Kali-Metall, wenn

1 A. a. O. 212.

es sich im Quecksilber befindet, seinen natürlichen elektrischen Zustand in der Nähe des positiven Pols erhöht haben könne und eben dadurch zurückgetrieben nun den einzigen Weg nehme, welchen ihm der Widerstand des Metalls von der einen Seite und die Cohaesion von der andern Seite erlauben, d. h. längst der Oberfläche, um sich von dem positiven Pole zu entfernen. Das elektropositive Metall kann sogar als ein Träger der positiven Elektricität wirken, welche ihm zu stark anhängt, um durch das Quecksilber geleitet zu werden (das, obgleich ein guter Leiter, weit entfernt ist ein vollkommener zu seyn), und angelangt auf der andern Seite der Kugel kann es dann erst durch den Einfluſs des entgegengesetzten Pols seinen erhaltenen elektrischen Zustand verlieren. Herschel fügt jedoch sogleich hinzu, daſs diese Erklärung noch viele Schwierigkeiten habe, und ohne Zweifel ist eine der wichtigsten, daſs bei der negativen Elektrisirung des Quecksilbers das Kalium sich zunächst an den negativen Draht anlegt und nicht zu begreifen ist, wie in demselben Augenblicke, in welchem der negative Draht herausgezogen wird, das von dem positiven Drahte entfernte Kalium von diesem abgestoſsen werden kann. Auch steht dieser Erklärung der Umstand im Wege, daſs in der Ammoniakflüssigkeit jene positive Strömung auch eintritt, ohne daſs der negative Draht vorher mit dem Quecksilber in Berührung gebracht wurde und ohne daſs sich also Ammonium-Amalgama gebildet haben konnte. Was noch die negativen Strömungen in der Säure betrifft, so leitet Herschel dieselben lediglich von den Bewegungen der Quecksilbertheilchen ab, weil nur die unmittelbar auf der Oberfläche des Quecksilbers befindlichen mit erstaunlicher Kraft fortgerissen werden, die darüber befindlichen Schichten aber eher von jenen fortgerissen zu werden, als durch eine unmittelbar auf sie einwirkende Kraft bewegt zu werden scheinen. Auch will Herschel bemerkt haben, daſs, wenn man einigen Zwischenraum zwischen den beiden Drähten und dem Rande des Quecksilbers läſst, die Strömung sich beschränke und jene kreisende Bewegung in der Nähe des Quecksilbers entstehe, während die Flüssigkeit, welche die Drähte zunächst umgiebt, fast ganz in Ruhe bleibt. Herschel, der das Unzureichende seiner Erklärung selbst wohl gefühlt hat, ſchlieſst mit folgender sinnreichen Bemerkung. Es biete sich auch eine andere

Digitized by Google

Ansicht dar, nämlich die auf der Oberfläche der ungleich leitenden Flüssigkeiten stattfindende Wirkung als eine Kraft eigenthümlicher Art zu betrachten, abhängig von einem neuen Vermögen des elektrischen Stromes, ähnlich der magnetischen Kraft und vielleicht daraus hervorgehend.

An diese Ansicht schlieſst sich nun am unmittelbarsten die von Schweigger[1] aufgestellte an, der die Erscheinung in der That als eine rein elektromagnetische betrachtet und jene Bewegungen der Flüssigkeiten und des Quecksilbers mit den rotirenden Bewegungen der Magnetnadel um einen Leiter, durch welchen ein elektrischer Strom sich bewegt, für ganz identisch hält. Um einen Begriff von der Reduction dieser Bewegungen auf die elektromagnetischen Drehungen zu geben, haben wir nach Schweigger die verschiedenen Stellen der Quecksilberscheibe mit den Buchstaben bezeichnet, welche den entsprechenden Magnetpolen zukommen. Es soll nämlich auf der Oberfläche des von der Elektricität in der Richtung von + E zu — E durchströmten Quecksilbers in N ein Nordpol, in S ein Südpol entstehn, dann aber habe die Flüssigkeit, welche zunächst einen metallischen Leiter umgiebt, nothwendig die ihm gleichnamige Elektricität. Die unmittelbar über dem negativ elektrisirten Quecksilber befindliche Wasserfläche sey also gleichfalls negativelektrisch, demnach müſste das über S (dem elektromagnetischen Südpole) befindliche negativelektrische Wasser sich *rechts um*, das auf N (dem elektromagnetischen Nordpole) aufliegende positivelektrische Wasser *links um* bewegen, und in der Art zeige sich das Phänomen wirklich, also ganz genau so, wie es sich elektromagnetischen Gesetzen gemäſs zeigen müsse.

Verfolgt man jedoch diese Erklärung ins Einzelne, so bieten sich von vielen Seiten Schwierigkeiten dar. Es ist nicht wohl zu begreifen, warum im entgegengesetzten Falle, wenn nämlich das Quecksilber positiv elektrisirt wird, sich keine Spur von Strömung zeigt. Schweigger leitet das Ausbleiben der Drehung in diesem Falle davon ab, daſs die Oberfläche des Quecksilbers sich oxydire, also rauh werde, wodurch die sich drehenden Wassertheilchen in ihrer Bewegung gehemmt sind. Dieses könnte jedoch höchstens nur von der untersten,

1 Dessen Journ. XLVIII. 324.

in unmittelbarer Berührung mit der Oberfläche des Quecksilbers stehenden Wasserschicht gelten, aber doch keine gänzliche Hemmung in den mehr entfernten Wasserschichten zur Folge haben. Auch dauert ja in der Säure die Bewegung noch fort, wenn gleich der positive Draht mit dem Quecksilber in Berührung gebracht worden ist. In dem Falle, wo in der Säure beide Drähte bloſs in die Flüssigkeit tauchen, müſsten nothwendig zwei entgegengesetzte Ströme statt finden, da im Quecksilber beiderlei Pole zugleich auftreten, und doch findet nur ein einseitiger Strom von entgegengesetzter Richtung von derjenigen in der alkalischen Lauge statt, wo das Quecksilber mit einseitiger negativer Polarität auftritt. Auch die gänzliche Abwesenheit der Ströme bei Substituirung einer Platte eines starren Metalls bleibt vollkommen räthselhaft, wenn gleich Schweigger[1] diesem Einwurfe dadurch begegnet, daſs er sagt: Man glätte doch einmal die Oberfläche eines festen Metalls künstlich in dem Grade ab, wie die Oberfläche reinen Quecksilbers von Natur ist, und wenn dieses möglich wäre, wird nicht sogleich durch den chemischen Proceſs Rauhigkeit entstehn, indem hier nicht wie bei einem flüssigen Metalle jede Oxydlage sich selbst ablösen kann? Eine solche Oxydschicht kann sich aber doch nicht in dem Falle bilden, wenn unter einer alkalischen Lauge der negative Draht mit der Metallplatte in Berührung gebracht wird. Auch ist der Mangel aller Einwirkung auch der stärksten Magnete auf jene Ströme kaum mit der elektromagnetischen Natur derselben vereinbar. Einen Hauptbeweis für die Richtigkeit seiner Erklärung findet Schweigger noch besonders in jenen *vierfachen Wirbeln*, von denen schon oben die Rede gewesen ist. Wenn der Strom von P nach Q geht, so ist elektromagnetischen Fig. 21.
Gesetzen gemäſs in NN die nordmagnetische, in SS die südmagnetische Hälfte der elektrisirten Quecksilberfläche. Das negativ elektrisirte Wasser (in der kohlensauren Kalilauge) muſs sich an der nordpolarischen und dabei negativelektrischen Quecksilberfläche *links um*, und *rechts um* an der südpolaren Quecksilberseite elektromagnetischen Gesetzen gemäſs bewegen, und die entgegengesetzten Bewegungen müssen auf der positiven Zone des Quecksilbers in der *über* demselben befindlichen, gleichfalls positivelektrischen, Flüssigkeit statt finden.

1 S. 344.

Digitized by Google

Wir haben alles auf das elektrische Verhalten der Flüssigkeiten, welches sie in Berührung mit dem Quecksilber, den galvanischen Gesetzen gemäſs, annehmen, zurückzuführen gesucht und die Bewegungen als selbstständige in den Flüssigkeiten selbst angenommen, abhängig von der repulsiven Thätigkeit der mit ihnen gleichnamig elektrischen Drähte. Die mit dem Quecksilber sich negativ verhaltenden Theilchen der Säure müssen vom negativen Pole zurückgestoſsen, vom positiven Pole angezogen werden, welche Anziehung und Zurückstoſsung von derjenigen, welche sich auf die Elementartheile der Säure und des Wassers bezieht, übrigens wohl zu unterscheiden wäre; umgekehrt müssen die mit dem Quecksilber sich elektropositiv verhaltenden Theilchen der alkalischen und salzigen Laugen von dem positiven Drahte abgestoſsen, von dem negativen angezogen werden, im erstern Falle muſs also eine positive, im zweiten eine negative Strömung entstehn. Dieser Erklärung stand indessen als eine unüberwindliche Schwierigkeit die Nothwendigkeit der Mitwirkung des *flüssigen* Quecksilbers oder irgend eines andern *flüssigen* Metallgemisches entgegen, denn man begreift nicht, warum bei der Substitution einer Gold- oder Platinplatte, mit welchen die Säuren und Laugensalze einen gleichen elektrischen Gegensatz wie mit dem Quecksilber eingehn, keine Spur von Bewegung eintritt. Darum möchte ich aber nicht mit Herschel und Nobili die Bewegungen der Flüssigkeiten als bloſs secundäre betrachten, die mitgetheilt worden sind von den allein ursprünglich in Bewegung gesetzten Theilchen des Quecksilbers, dem jene Flüssigkeiten bloſs passiv folgen, von ihm gleichsam nur fortgerissen werden. Der Hauptbeweis dagegen scheint mir in der Thatsache zu liegen, daſs auch dann die Bewegungen der Flüssigkeiten und zwar in gerader Linie von einem Drahte zum andern statt finden, wenn auch gleich die Drähte *zur Seite des Quecksilbers* in die Flüssigkeit eintauchen.

So lange der ganze Vorgang der Art der Leitung und Fortbewegung der Elektricität noch in so tiefes Dunkel gehüllt ist, wie es in der That der Fall ist, wird auch von einer genügenden Theorie der abgehandelten elektrischen Bewegungen nicht die Rede seyn können.

Digitized by Google

II. Ladungssäule. Ritter'sche Säule. Secundäre Säule.

Unter dem Namen *Ladungssäulen* versteht man solche, welche an und für sich nicht im Stande sind, einen elektrischen Strom hervorzubringen und zu unterhalten, an denen auch nicht im ungeschlossenen Zustande die elektroskopischen Erscheinungen, wie sie jede ächte Volta'sche Säule oder jeden nach den Principien derselben eingerichteten galvanischen Apparat (galvanische Batterie) charakterisiren, wahrnehmbar sind, welche aber in Verbindung mit einer Volta'schen Säule gebracht und dann aus dem Kreise derselben herausgenommen alle Erscheinungen einer Volta'schen Säule darbieten, im ungeschlossenen Zustande nämlich entgegengesetzte elektrische Pole von gleicher Spannung zeigen, im geschlossenen Zustande aber einen elektrischen Strom hervorbringen, der alle Wirkungen des elektrischen Stromes einer gewöhnlichen Volta'schen Säule äufsert, die sich aber dann noch darin von den gewöhnlichen Volta'schen Säulen unterscheiden, dafs ihre Thätigkeit schnell abnimmt und bald gänzlich aufhört. Man hat diesen Säulen den Namen von *Ladungssäulen* gegeben, weil man ihre Wirksamkeit als abhängig von einer Art elektrischer Ladung der metallischen Scheiben, die wesentlich zu ihrer Construction sind, ansah, sie können auch *Ritter'sche* Säulen von ihrem Erfinder J. W. Ritter genannt werden; sofern ihre Wirksamkeit eine abgeleitete ist, werden sie auch *secundäre* Säulen genannt.

Wir haben an verschiedenen Orten unter dem Artikel *Galvanismus* die so merkwürdigen Elementarerscheinungen, welche in der Ladungssäule in einem verstärkten Grade erscheinen, zur Sprache gebracht, namentlich im §. 22. S. 609. §. 62. S. 812. §. 102. S. 972. Doch ist der Gegenstand für die ganze Theorie der Elektricität von so grofser Wichtigkeit, dafs er hier noch eine ausführlichere Erörterung finden mag, besonders in Beziehung auf die Phänomene der Ladungssäule selbst, von welcher in jenem Artikel noch gar nicht die Rede gewesen ist.

A. Das Historische.

Die erste Beobachtung, welche sich auf das Phänomen

der galvaniſchen Ladung bezieht, verdanken wir dem Franzoſen Gautherot[1]. Er fand nämlich, daſs, wenn zwei Golddrähte, die, mit den Polen einer ſchwach wirkenden Batterie in Verbindung ſtehend, an die Zunge gebracht keinen oder nur einen höchſt ſchwachen Geſchmack bewirken, aus ihrer Verbindung mit den Polen entfernt und in ihrer Lage an der Zunge gelaſſen, wie ſie nun für ſich zur Kette geſchloſſen werden, einen ſehr lebhaften Geſchmack bewirken, der um ſo lebhafter wird, je öfter man dieſen Verſuch wiederholt. Dieſen Verſuch änderte Gautherot auch ſo ab, daſs er zwei Platindrähte von einander abgeſondert durch einen Kork in eine Flaſche mit Salzwaſſer gehen lieſs, mit den äuſsern Enden mit den Polen einer Batterie in Verbindung brachte. Nach aufgehobener Verbindung mit derſelben brachten dieſe Enden, an die Zunge gehalten, den bekannten galvaniſchen Geſchmack hervor. Unabhängig von dieſer fragmentariſchen und von Gautherot nicht weiter erklärten Erfahrung eröffnete aber Ritter auf ſeinem eignen Wege ſchon im Jahre 1801 dieſes Gebiet neuer Erſcheinungen. Da er das allgemeine Geſetz ausgemittelt, daſs bei der Oeffnung des galvaniſchen Kreiſes im Augenblicke der Trennung die vorher ſtattgehabten Empfindungen in die entgegengeſetzten übergingen und alſo gleichſam eine Umkehrung der Polarität hier ſtatt finde, ſo erwartete er etwas Aehnliches bei den mineralogiſchen Körpern, namentlich bei den Metallen, und fand dann wirklich, daſs ein aus zwei Stücken beſtehender Golddraht, der im Kreiſe der Volta'ſchen Batterie als Leiter zwiſchen zwei Waſſerſchichten gedient, aus dieſem Kreiſe herausgenommen und für ſich allein mit ſeinen zwei Enden an die Zunge gebracht, während die beiden andern Enden ſelbſt mit einander in Verbindung ſtanden, mit demjenigen Ende, das in dem Kreiſe negativer Pol geweſen war, nunmehr als poſitiver Pol wirkte und den ſauren Geſchmack hervorbrachte, das andere Ende dagegen, vorher poſitiver Pol, nun als negativer ſich thätig zeigte, folglich an dieſem einen Golddrahte die beiden Pole zugleich thätig waren, und zwar in der entgegengeſetzten Ordnung von derjenigen, welche ſie im Kreiſe der Säule befolgt hatten.

1 Voigt's Magazin für den neueſten Zuſtand der Naturkunde. IV. 711. 831.

Digitized by Google

Ebenso verhielt sich ein solcher gleichsam polarischer Golddraht gegen das Auge und gegen die Nerven, welche zu den Muskeln gehn. Ritter blieb hierbei nicht stehn, sondern erweiterte diese Versuche zur Erbauung der sogenannten Ladungssäule. Ungeachtet Ritter auf einem Wege, der ihm den Schlüssel zur Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule von selbst in die Hände zu geben schien, zu der neuen Entdeckung gelangt war, so verfolgte er doch in seiner Erklärung einen ganz andern Weg und hinterlieſs seinen Nachfolgern eine wichtige Nachlese. Seine Versuche wurden im Jahre 1803 von ihm bekannt gemacht[1], die Existenz dieser Ritter'schen Ladungsäule als einer ganz eigenthümlichen und des Phänomens der Ladung als eines ganz neuen wurde bald in Anspruch genommen und von Volta und Brugnatelli auf bereits bekannte galvanische Verhältnisse scheinbar zurückgeführt [2]. Damit schien die Sache abgeschlossen und in der That längere Zeit hindurch der Aufmerksamkeit der Physiker gänzlich entrückt, bis der Italiener Marianini durch eine groſse Reihe von Versuchen, die er in mehreren Abhandlungen bekannt machte, die richtige Erklärung der Ritter'schen Ladungssäule vorbereitete[3]. Nun nahm auch der Genfer Physiker De la Rive[4] im Jahre 1827 diesen Gegenstand wieder auf und, wie es scheint, ganz unbekannt mit den frühern Ritter'schen Versuchen bezeichnete er jene merkwürdige Eigenschaft der Metalle, unter bestimmten Umständen eine galvanische Ladung anzunehmen, mit dem Namen des *elektrodynamischen Vermögens*. Diese Versuche De la Rive's veranlaſsten mich zu einer eigenen Arbeit, welche vorzüglich bestimmt war, De la Rive's Theorie zu prüfen[5]. Endlich schlieſsen sich auch die interessanten Versuche Wetzlar's über die Reduction der Metalle auf nassem Wege an diesen Gegenstand an[6].

---

1 Voigt's Magaz. VI. 97. 181.
2 G. XIX. 491. XXI. 133. XXII. 202. 213.
3 Schweigger's Journ. XLIX. 22. 264.
4 Poggendorff's Ann. X. 423.
5 Schweigger's Journ. LIII. 295.
6 Ebendas. XLIX. 430. L. 88.

Digitized by Google

B. Die Thatsachen.

a. Die erste Reihe der hierher gehörigen Thatsachen bezieht sich auf die Veränderung, welche die Metalle in ihrer elektromotorischen Thätigkeit erleiden, wenn sie selbst als Glieder in der einfachen Kette zur Erregung des elektrischen Stromes mitgewirkt haben. Diese Thatsachen sind sehr ausführlich unter dem Artikel *Galvanismus* im §. 22. S. 609. abgehandelt worden. Das allgemeine Resultat der hierher gehörigen Versuche ist dieses, daſs negative Elektromotoren, welche mit positiven zur einfachen Kette geschlossen werden, dadurch die merkwürdige Veränderung erleiden, daſs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten dem positiven Ende der galvanischen Spannungsreihe näher rücken und mit ihnen ganz homogenen Platten, mit denen sie vor ihrer Anwendung als Kettenglieder nur eine unwirksame zweigliedrige Kette gebildet haben würden, nunmehr eine wirksame Kette bilden, in welcher sie die Rolle des positiven Elektromotors übernehmen. Diese Veränderung ist um so auffallender, je wirksamer die Kette an und für sich war, in welcher Hinsicht besonders Zink als positives Metall gebraucht sich wirksam beweist, jedoch auch andere sich positiv verhaltende Metalle, wie Blei, Zinn, Eisen, dieselbe Wirkung, nur in geringerem Grade haben; diese Veränderung kann so weit gehn, daſs sie in ihrem elektromotorischen Verhalten mehrere ihnen zunächst stehende, dem positiven Ende sonst näher stehende Glieder der Spannungsreihe überspringen und mit diesen zur Kette geschlossen vielmehr mit positivem Werthe auftreten, während letztere sich negativ mit ihnen verhalten, wobei vorzüglich der Multiplicator und die vermittelst seiner durch die Art der Ablenkung der Magnetnadel angezeigte Richtung des elektrischen Stromes als Erkenntniſsmittel diente. Dabei ergab sich, daſs die Elektromotoren diese merkwürdige Veränderung ihrer elektromotorischen Thätigkeit, diese Umwandelung ihres negativen Werthes in einen positiven, unter gleichen Umständen in einem um so höhern Grade zeigen, je näher sie selbst dem negativen Ende der Reihe stehn, ungefähr, so weit die Versuche gehn, in folgender Ordnung: Graphit, Platin, Gold, Silber, Kupfer, Messing, Antimon, Eisen, Zinn, Blei. Man kann auch das negative Metall, nachdem es eine Zeit lang mit dem positiven zur Kette geschlossen gewesen, aus der

Digitized by Google

Flüssigkeit herausziehn und abtrocknen, ohne daſs dadurch jene Veränderung des elektromotorischen Werthes aufgehoben würde. Doch hebt eine längere Berührung mit der Luft diesen neuen Zustand allmälig auf. Eine *entgegengesetzte* Veränderung in der elektromotorischen Thätigkeit des als positives Glied der Kette wirksam gewesenen Metalls, eine Veränderung und Umkehrung seines positiven Werths in einen mehr negativen, findet in viel geringerem Grade statt und ist in mehrern Fällen gar nicht nachzuweisen. So konnte Marianini bei Zink, Quecksilber, Eisen, Blei und Zinn, wenn sie mit negativen Metallen combinirt waren, überall keine Zeichen einer solchen Veränderung wahrnehmen, nur Messing bot ihm Spuren derselben dar. Fechner[1] lieſs Zinn Tage lang mit Kupfer zur einfachen Kette in salzsaurem Wasser geschlossen, ohne bei nachheriger Prüfung mit frischem Zinn irgend eine Spur erlangter Negativität zu bemerken, doch glaubt er beim Zink nach längerer Schlieſsung eine solche Umkehrung in einen mehr negativen Zustand beobachtet zu haben. Oft sieht man die ganze Oberfläche des positiven Metalls Zink oder Zinn mit Silber oder Kupfer zur Kette geschlossen *geschwärzt*, ohne daſs dadurch eine Aenderung in der elektromotorischen Thätigkeit eingetreten ist, während umgekehrt bei den negativen Metallen eine sehr starke Aenderung der elektromotorischen Thätigkeit von keiner für das Auge sichtlichen Veränderung der Oberfläche begleitet ist, namentlich beim Platin. Doch beobachtet man dieselbe wohl beim Kupfer. Werden dagegen negative Metalle mit noch stärker negativen, in Rücksicht auf welche sie sich also als positive verhalten, zur Kette geschlossen, so bemerkt man allerdings eher eine solche Umkehrung ihrer mehr positiven Natur in die negative, worüber im Artikel *Galvanismus* S. 611. mehrere Versuche von Marianini angeführt worden sind. Hat ein Metall eine gewisse Veränderung seines elektromotorischen Verhaltens aus dem negativen in den mehr positiven erlitten, so kann man diese wieder aufheben und dasselbe in seinen vorigen Zustand zurückführen, wenn man es zum positiven Gliede einer Kette macht, z. B. wenn man Kupfer, das durch Schlieſsung mit Zink relativ mehr positiv geworden ist, mit Graphit oder

1 Biot's Lehrbuch der Experimentalphysik. 1829. Bd. III. S. 271.

Digitized by Google

Platin zur Kette schlieſst. Auch Erhitzen, Eintauchen in kochendes Wasser oder selbst das längere Aussetzen an die Luft stellt den ursprünglichen Zustand der Metalle wieder her, doch erhalten sie denselben längere Zeit, wenn sie wohl in Papier eingeschlossen verwahrt werden.

b. Auf eine noch auffallendere Weise wird unter Umständen, die dieses Phänomen von einer ganz neuen Seite zeigen und mehr auf die Ansicht einer eigentlichen Ladung der Metalle führen, diese Veränderung des elektromotorischen Zustandes hervorgebracht, wenn die Metalle als Leiter des elektrischen Stromes starker galvanischer Batterieen dienen, womit besonders De la Rive's und meine eigenen Versuche sich beschäftigt haben. Man läſst zu diesem Behuf zwei Drähte oder Streifen von demselben Metalle (oder von Kohle, Graphit, Graubraunsteinerz) als Polarenden der Säule wohl isolirt durch einen Korkstöpsel in eine Gasentbindungsröhre gehen, so daſs sie bis zu einer hinlänglichen Tiefe von einem halben oder ganzen Zoll in die Flüssigkeit hineinreichen, und um die Wirkung zu verstärken, bringt man sie einander hinlänglich nahe. Ist der elektrische Strom einer kräftigen Batterie eine Zeit lang durch sie hindurch gegangen und bringt man dann, nach aufgehobener Verbindung mit den Polen der Säule, die auſserhalb der Röhre befindlichen Enden solcher Drähte mit den beiden Enden eines Multiplicators in Verbindung, so daſs sie dadurch zur Kette geschlossen werden, so erfolgt eine Ablenkung der Magnetnadel, zufolge welcher der mit dem negativen Pole in Verbindung gewesene Draht sich positiv gegen denjenigen verhält, welcher mit dem positiven Pole in Verbindung gestanden hat. Man erhält denselben Erfolg, wenn man den Kork mit den Drähten herausnimmt und diese in eine Röhre mit einer gleichen Flüssigkeit, die aber keinem elektrischen Strome ausgesetzt gewesen war, bringt. Die Drähte, aus der Röhre herausgenommen oder auch in derselben gelassen, verlieren in kurzer Zeit ihre Ladung von selbst wieder, um so eher, je schwächer sie geladen waren.

Die Stärke der Ladung und die davon abhängige Dauer der Zeit, während welcher jene Drähte sie behalten, hängt von verschiedenen Umständen ab.

1) Alle Umstände, welche den chemischen Procefs in der Gasentbindungsröhre befördern, dienen auch zur Verstärkung

der Ladung, also insbesondere die Kraft des Stromes und die Beschaffenheit der in der Röhre befindlichen Flüssigkeit. So bringt Wasser gar keine merkliche Ladung hervor, Kochsalzauflösung schon eine stärkere, Salmiakauflösung eine noch stärkere, so wie verdünnte Schwefelsäure. Bei einem kräftig wirkenden Strome sind 6 bis 8 Minuten zur Hervorbringung des Maximums von Ladung hinreichend, und weit entfernt, durch das mehrere Stunden fortgesetzte Durchströmen dieses Maximum verstärken zu können, fällt vielmehr die Ladung schwächer aus, wenn die Säule selbst von der Art ist, daſs sie schon nach einigen Stunden an Wirksamkeit abnimmt. Bei geschwächter Wirksamkeit der Säule wird das Maximum erst nach einer halben oder ganzen Stunde erreicht. Die Dauer der Ladung, wenn die Drähte aus dem Kreise herausgenommen sind, richtet sich im Ganzen nach der Stärke dieser Ladung, und wenn dieselben erst einmal das Maximum erlangt haben, so ist ein längeres Verweilen im Kreise ohne weitern Einfluſs auf die Dauer der Ladung.

2) Von einem groſsen Einflusse zeigt sich aber die besondere Natur der Drähte. Die metallischen Leiter sind nämlich um so geeigneter zur Annahme der Ladung, je näher sie dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. Wir fanden unter fast gleichen Umständen folgende Ordnung in der Stärke der Ladung, von demjenigen ausgegangen, welches die stärkste Ladung annahm: *Graubraunsteinerz* (in Krystallen angewandt), *Graphit*, wohl ausgebrannte *Kohle*, *Platin*, *Gold*, *Silber*, *Kupfer*, *Messing*, *Eisen*, *Zinn*, *Blei*, *Zink*. Dieselbe Ordnung findet gleichfalls statt in Ansehung der Zeitdauer, während welcher sie die erlangte Ladung behielten, so daſs also z. B. Zink diese Eigenschaft, die dasselbe an und für sich nur in einem sehr schwachen Grade zeigte, in wenigen Secunden wieder verlor, während Graphit und besonders Kohle sie viele Stunden behielten. Es ist von den Physikern, welche diese Eigenschaft durch ihre Versuche aufgeklärt haben, versäumt worden, zu untersuchen, ob in allen diesen Fällen der mit dem positiven Pole in Verbindung gewesene Draht eine gleich starke negative Ladung angenommen habe, als der mit dem negativen Pole verbunden gewesene eine positive, eine Prüfung, die sich anstellen läſst, indem man jeden Draht besonders mit einem gleichartigen ungelade-

Digitized by Google

nen zur Kette schlieſst. Fechner[1] glaubte bei Anwendung keiner sehr genauen Prüfungsmethode bei Platin- und Silberdrähten eine Gleichheit der relativen Ladung beobachtet zu haben. Die sehr negativen Elektromotoren nehmen hierbei auf ihrer Oberfläche eine auffallende Veränderung an; die Gold- und Silberdrähte auf der negativen Seite überziehen sich mit einer schwarzen Haut, das Graubraunsteinerz verliert seinen Glanz und setzt einigermaſsen dendritische Flocken ab. Verwechselt man die Drähte oder Streifen, nachdem sie eine Zeit lang der Einwirkung der Säule ausgesetzt gewesen sind, um hinlänglich geladen zu werden, in ihrer Verbindung mit der Säule, so daſs der vorher positive Draht nun zum negativen Polardrahte gemacht wird, und umgekehrt, so vergehen stets einige Minuten, ehe die gewöhnliche Gasentwickelung an ihnen auftritt. Wenigstens fanden wir dieses bei Stücken von Graphit und Kohle, auch bei Drähten von Gold, Silber, Kupfer, und noch einigermaſsen beim Messing. Wichtig für die Theorie dieser Erscheinungen ist der Umstand, daſs, um bei der Schlieſsung der so geladenen Drähte zur Kette den neuen Strom zu erhalten, der die entgegengesetzte Richtung von demjenigen hat den die Säule unterhalten hatte, es nicht erforderlich ist, daſs diejenigen Enden der Drähte, welche zuvor in der Flüssigkeit sich befanden, mit dieser selbst in Berührung bleiben, oder mit einer andern frischen Flüssigkeit in Berührung gesetzt werden, sondern man erhält auch den elektrischen Strom, wenn man den Kork schnell herauszieht und die Drähte umkehrt, so daſs nun die Enden, die vorher sich auſserhalb befanden und auf welche die Flüssigkeit durchaus nicht wirken konnte, in dieselbe eintauchen, wenn gleich die Wirkung schwächer ist und früher aufhört. De la Rive stellte den Versuch auf die Weise an, daſs er die auſserhalb der Flüssigkeit hervorragenden Drahtenden abschnitt, und sie dann gegen einander in einer Flüssigkeit prüfte. Es ist bei Anstellung dieser Versuche nicht gehörig ausgemittelt worden, ob die auſserhalb befindlichen Stücke, die, wenn gleich nicht mit der Flüssigkeit in Berührung, doch an der Ladung Theil genommen hatten, sich mit in dem geschlossenen Kreise befunden haben, so daſs der elektrische Strom genöthigt war, durch

1 Biot's Experimentalphysik. Bd. III. S. 275.

sie hindurch zu gehen. An zur einfachen Kette geschlossenen Elektromotoren, nach der ersten Art diese Versuche anzustellen, hat man die Ladung nicht über die Grenze der Berührungsfläche mit der Flüssigkeit hinaus wahrgenommen, man kann vielmehr eine Platte eines negativen Metalls auf diese Art leicht in zwei verschiedene elektromotorische Hälften scheiden, indem man bloſs die eine Hälfte derselben mit dem feuchten Leiter in Berührung bringt, während man dieses Metall mit einem kräftig positiv wirkenden zur Kette schlieſst. Reiben oder Waschen der Drähte nach erlangter Polarität hebt diese nicht auf, verringert sie aber jedesmal in einem gewissen Verhältnisse. Weder für sich allein durch das Elektrometer, noch durch Hülfe des Condensators untersucht zeigen übrigens diese Drähte oder Streifen, nachdem sie in den Ladungszustand versetzt worden sind, *irgend eine Spur von freier elektrischer Spannung*.

C. Die dritte Reihe von Thatsachen, die hierher gehören, bezieht sich auf diejenigen Versuche, durch welche in einem und demselben Metalle die entgegengesetzten Zustände gleichzeitig hervorgerufen werden oder ein und dasselbe Metallcontinuum eine entgegengesetzt polare Ladung erhält. Wir haben oben in dem Geschichtlichen bemerkt, daſs das ganze Gebiet dieser Erscheinungen durch einen solchen Versuch Gautherot's eröffnet wurde, Ritter aber war es, der schon damals diese Erscheinung nach allen Seiten verfolgte und die Hauptgesetze derselben bestimmte, ungeachtet ihm der Multiplicator mit der Magnetnadel, das empfindlichste Reagens für diese Art von Veränderungen, noch nicht zu Gebote stand. Das Phänomen in seiner gröſsten Einfachheit besteht darin, daſs irgend ein Metalldraht oder Streifen, welcher auf die Weise, wie im Artikel *Galvanismus* § 83. S. 879. angegeben ist, die Continuität des flüssigen Leiters, durch welchen der Strom der elektrischen Säule hindurch geführt wird, unterbricht, so daſs an seinen beiden Enden entgegengesetzte Pole auftreten, aus der Kette herausgenommen selbst Polarität zeigt, oder gleichsam für sich allein ein Paar heterogener Elektromotoren vorstellt, und zwar so, daſs das vorher negativ gewesene Ende (das dem + Pole der Säule gegenüber gestanden) nunmehr positive elektromotorische Thätigkeit, das dem negativen Pole der Säule zugekehrt gewesene positive Ende

negative Thätigkeit zeigt und der Draht oder Streifen, mit einem feuchten Leiter zur Kette geschloſsen, einen elektriſchen Strom giebt, der aber gerade die entgegengesetzte Richtung von derjenigen des elektrischen Stromes hat, durch welchen er im Kreise der Säule in diesen neuen (elektro-dynamischen) Zustand versetzt, galvanisirt, geladen wurde. Ritter erkannte diese neue Eigenschaft und ihr Gesetz nur durch Schlieſsung des Drahtes mit seinen beiden Enden durch die sehr empfindlichen Sinnorgane, die Zunge, die Augen, so wie durch präparirte Froschschenkel. Auf die Zunge wirkte nämlich das Ende, welches vorher Wasserstoffgas gegeben hatte, wie *Zink*, und brachte den sauern Geschmack hervor, während das andere wie *Kupfer* wirkte und einen *alkalischen* Geschmack erzeugte. Entsprechend waren die Wirkungen auf das Auge und das Froschpräparat, doch vermochte Ritter keine Wasserzersetzung dadurch zu bewirken. De la Rive benutzte den Multiplicator mit der Magnetnadel zur Prüfung dieses neuen Zustandes. Ein solcher galvanisirter Platindraht an das eine Ende des Multiplicators gebracht und mit dem andern Ende in eine Flüssigkeit getaucht, in welche ein am andern Ende des Multiplicators angebrachter Platindraht gleichfalls eintaucht, bringt einen elektr. Strom hervor, dessen Richtung jenem obigen Gesetze gemäſs ist. Aber nicht bloſs die beiden Enden des Drahtes, sondern jedes Stück desselben wirkt, und zwar wie das Ende, dem es zunächst liegt. Nur ist die Intensität der Wirkung um so geringer, als es sich der Mitte nähert, woselbst sie null ist, auch nimmt sie von dem Ende an sehr rasch ab. Theilt man den nämlichen Draht in zwei Theile und bringt beide an die Enden des Multiplicators, so geschieht alles so, als wenn man zwei getrennte Drähte, einen positiven und einen negativen, dahin versetzt hätte. Die Richtung des Stromes ist in dem einen Falle wie in dem andern völlig dieselbe. Ein besonders interessanter Versuch, durch welchen De la Rive eine vollkommene Uebereinstimmung des elektrischen Zustandes mit dem magnetischen nachzuweisen suchte, war der, daſs er einen solchen Draht an irgend einer Stelle durchschnitt. Soll diese Uebereinstimmung statt finden, so muſs man an den zuvor vereinigt gewesenen Enden, wenn man sie in dieselbe Flüssigkeit taucht, und durch Verbindung der entgegengesetzten Enden

die Kette schlieſst, entgegengesetzte Pole erhalten. Die Richtung des Stromes zeigt, daſs dieses allerdings der Fall ist, allein der Strom ist schwach und oft null, wie dieses stets geschieht, wenn man sich nicht von den Drähten derjenigen Stücke bedient, welche in die der Wirkung der Säule ausgesetzte Flüssigkeit eingetaucht waren.

Ritter bestimmte auch schon genau die Umstände, welche auf die Stärke dieser Doppelladung eines Drahtes Einfluſs haben und welche, was namentlich die Beschaffenheit der Drähte, die Dauer der Einwirkung, die Stärke des el. Stromes u. s. w. betrifft, ganz dieselben sind, wie bei der einseitigen Ladung solcher Drähte oder Streifen. Ritter bemerkt dabei, daſs die Stärke der Ladung nur bis zu einer gewissen Anzahl Plattenpaare der Batterie zunahm, wie diese Anzahl, dann aber nach und nach stehn blieb, wenn auch jene Anzahl wuchs, ein Punct, welcher für jedes Metall ein anderer war. Auch bei solchen doppelt geladenen Drähten verschwand die Ladung allmälig wieder, selbst wenn sie sich überlassen waren, schneller aber, wenn sie zur Kette geschlossen wurden, und um so schneller, je besser der Leiter zweiter Classe in einer solchen Kette leitete. Die Erschöpfung der Ladung ist aber in solchen Fällen oft nur scheinbar. Man darf dann die Drähte nur 5 bis 10 Secunden ruhen lassen, und sie haben sich wieder erholt. Bei einem lange genug im Kreise der Batterie gewesenen Golddrahte will Ritter[1] diesen Wechsel der Erschöpfung und Wiedererholung öfters gegen 5- bis 6mal beobachtet haben. Selbst wenn er zwei unter gehörigen Umständen im Kreise der Batterie gewesene Golddrähte unter sich selbst verband, daſs an beiden Verbindungsstellen + mit — und — mit + zusammentrafen, wenn kein feuchter Leiter dazwischen trat, und er sie eine *halbe* oder ganze Stunde so verbunden lieſs, war doch dadurch die Wirkung der Drähte für den nachherigen Versuch, wo die Zunge in die Kette trat, nur *geschwächt*, nicht *aufgehoben*, nach einigen Secunden Ruhe sammelte sie sich wieder und war von neuem in ziemlicher Stärke da. Nach einer Aeuſserung von Ritter[2] soll diese Galvanisirung von Me-

1 Voigt's Magazin a. a. O. S. 113.
2 A. a. O. S. 111.

talldrähten auch eintreten, wenn sie ohne Zwischenkunft eines feuchten Leiters die Pole einer Batterie unmittelbar verbinden, doch in diesem Falle in einem viel geringeren Grade.

d. Ladungssäulen.

So wie die Wirkung der einfachen Kette durch die Wiederholung derselben in der Volta'schen Säule vervielfältigt wird, so können nun auch die einfachen Ladungen und die davon abhängigen Wirkungen vervielfacht werden durch die Combination mehrerer Ladungselemente mit einander, und eine solche *Ladungssäule* verhält sich dann zur *einfachen Ladungskette* wie die Volta'sche Säule zur einfachen galvanischen Kette. Man kann nämlich mehrere homogene Metallplatten auf einmal laden, indem man sie abwechselnd mit feuchten Scheiben schichtet und diese aus Abwechselungen bloſs *eines* Metalls und *eines* feuchten Leiters bestehende Säule in den Kreis einer Volta'schen Säule bringt, d. h. sie an ihren beiden Enden mit den Polen derselben in Verbindung setzt. Nimmt man eine solche secundäre Säule, nachdem der el. Strom eine Zeit lang durch sie hindurchgegangen ist, aus dem Kreise der ursprünglichen Säule heraus, so wird sie jetzt für sich alle Wirkungen dieser Säule, wiewohl in schwächerem Grade, zeigen, d. h. sie wird auf das Elektroskop wirken, Wasser zersetzen, Schläge ertheilen, auf die Magnetnadel wirken, wiewohl sie keine Spur von allen diesen Wirkungen vor diesem Durchströmen gezeigt hatte. Indeſs nehmen die Wirkungen einer solchen Säule allmälig ab und verschwinden von selbst, sie kann dann aber immer wieder von neuem geladen werden, wenn sie von neuem in den Kreis der Volta'schen Säule gebracht wird.

Vergleicht man die Richtung des el. Stromes einer solchen Ladungssäule, der durch ihre Schlieſsung eingeleitet wird, mit derjenigen der Volta'schen Säule, durch welche sie geladen wurde, so findet man, daſs dieselbe gerade die *entgegengesetzte* ist, was auch schon aus der Art der Vertheilung der Pole der Ladungssäule hervorgeht, indem jedesmal dasjenige Ende der Ladungssäule, welches mit dem positiven Pole der Volta'schen Säule in Verbindung stand, den positiven, das entgegengesetzte den negativen Pol zeigt.

Auf die Stärke der Ladung äuſsern alle die Umstände, welche auch die Stärke der Ladung der Drähte, Platten u. s. w. in der einfachen secundären Kette bestimmten, den gleichen Einfluſs.

1) Die Ladung ist unter sonst gleichen Umständen um so stärker, je näher die Metalle, welche mit den feuchten Pappen geschichtet sind, dem negativen Ende der galvanischen Spannungsreihe stehen. So nehmen von Metallen Goldplatten (z. B. Goldmünzen) die stärkste Ladung an, demnächst Silberplatten, dann Kupferplatten, Messingplatten, Eisenplatten, Zinnplatten, Bleiplatten, und eine solche Ladungssäule aus Zinkplatten zeigt eine kaum merkliche Wirkung. Die Dauer der Ladung ist auch um so länger, je näher die Metalle dem negativen Ende stehn, so hatte in Marianini's Versuchen eine Goldplattensäule von acht Abwechselungen, deren Spannung ursprünglich 4° nach dem Elektrometer war, in ¾ Stunden nur 2° abgenommen, während eine Kupferplattensäule, deren Spannung ursprünglich aber nur 2° gewesen war, sie gänzlich verloren hatte. Wenn aber auch die Spannung in beiden Säulen gleich gewesen war, hatte sie sich in der Kupferplattensäule viel schneller verloren.

2) Die Ladung der secundären Säule ist um so kräftiger, je kräftiger der elektrische Strom der ursprünglichen Säule ist, ein je besserer Leiter also die Flüssigkeit in dieser ist, je gröſser die Berührungsfläche derselben mit den Metallen, je gröſser die Zahl der Plattenpaare u. s. w.

3) Eine Ladungssäule nimmt eine un so stärkere Ladung an, je gröſser die Zahl der mit feuchten Pappen abwechselnd geschichteten Platten ist, doch erfordert in demselben Verhältnisse, in welchem die Zahl der Abwechselungen zunimmt, die Ladungssäule auch einen stärkern el. Strom, um eine starke Ladung anzunehmen.

4) Nach Ritter soll die Ladung der secundären Säule unter sonst gleichen Umständen um so stärker seyn, ein je schlechterer Leiter der Elektricität die Flüssigkeit in der secundären Säule ist, so sollen sich bei gleicher Volta'scher Batterie von 100 Zink-Kupfer-Platten mit Kochsalzlösung eine Säule aus 40mal Kupfer und Salmiakauflösung am schwächsten, stärker mit Kochsalzauflösung, am stärksten mit destillir-

tem Wasser geladen haben. Doch hat dieses seine Grenzen, denn 40mal Kupfer mit reinem Weingeist nahm fast gar keine Ladung an. Nach Marianini ist jedoch diese schwächere Ladung bei Anwendung eines bessern Leiters nur scheinbar und rührt vielmehr von der sehr schnell von selbst erfolgenden Entladung her, wenn die Ladungssäule aus dem Kreise der Volta'schen herausgenommen ist. Die Dicke des feuchten Leiters in der secundären Säule äuſsert auch ihren Einfluſs. Nach Ritter's Versuchen war eine Dicke von einer Linie günstiger, als von einer halben Linie und von zwei Linien bei Anwendung einer Volta'schen Säule von 90 Zink-Kupferplatten mit Kochsalzauflösung. Marianini fand bei Anwendung einer secundären Säule in Gestalt eines Becherapparats die Ladung um so schwächer, je weiter die Kupferplatten von einander abstanden.

Bei derselben Anzahl von Kupferplatten und feuchten Pappen ist die Wirkung der Ladung eine höchst verschiedene, je nachdem man dieselben unter einander vertheilt. Man setze z. B. von 64 Kupferplatten je 32 und 32 zusammen, so daſs sie ein Continuum bilden, und bringe 64 ebenfalls zu einem Continuum verbundene mit Wasser genäſste Pappen dazwischen, so ladet diese Combination sich unter allen möglichen Verbindungen jener 64 Kupferplatten und feuchten Pappen am schwächsten oder leitet nach der Ansicht, welche Ritter vom Ladungsprocesse aufstellt, am besten. Man ordne sie ferner so: 21 K. 32 P. 22 K. 32 P. 21 K.; diese Verbindung ladet sich schon stärker. Dann vertheile man sie so, daſs Pappe von Kupfer 2mal, 3mal, 4mal, 8mal, 16mal, 32mal, endlich 64mal unterbrochen werde, und bei jeder häufigeren Unterbrechung ist die Ladung stärker (die Leitung nach Ritter geringer). Es kommt also alles hierbei auf die Zahl der Unterbrechungen oder die Paare Metall und feuchter Pappe an, die auf einander in gleicher Ordnung folgen, und man begreift von selbst, daſs, wenn man jede von den 64 Platten Kupfer und feuchten Pappen in der letzten Anordnung wieder in zwei Theile theilt und so schichtet, daſs nun 128 solcher Unterbrechungen von K und P eintreten, die Ladung abermals stärker ist. Sofern Ritter hierbei Zunahme der Ladung mit Abnahme der Leitung für gleichbedeutend hält, ergiebt sich eben damit das Resultat, daſs man aus zwei ge-

Digitized by Google

gebenen Massen guter Leiter einen dritten zu construiren vermag, welcher schlechter und sehr viel schlechter leitet, als der schlechteste von jenen beiden, ja welcher fast ganz isolirt. Bei Anstellung der Versuche mit Kupferplatten, die auf so verschiedene Weise durch die feuchten Pappen unterbrochen wurden, glaubte Ritter zu dem merkwürdigen Resultate gelangt zu seyn, daſs das Maximum von Ladung für die chemischen Wirkungen ein ganz anderes sey, als für die physiologischen (Schläge, Geschmackempfindungen), ja daſs sich die letztere Wirkung ganz ohne alle chemische darstellen lasse, so wie dann auch Combinationen in der Sphäre der Ladungssäulen vorkommen sollen, wo chemische Wirkungen ganz ohne physiologische dargestellt werden können, welches demnach auf nichts Geringeres als die gänzliche Verschiedenheit der Ursache der chemischen und physiologischen Wirkungen hindeutet. Den Beweis für die erstere Trennung sollen nun eben jene Säulen, in welchen die feuchten Leiter gar nicht, dann 1mal, dann 2mal, 4mal, 8mal, 16mal, 32mal, 64mal, 128mal und 256mal von den Kupferplatten von wenigstens 2 Quadratzoll Oberfläche unterbrochen waren und welche Säulen nach der Reihe 4 bis 5 Minuten in den Kreis einer Volta'schen Säule von Z K und gesättigter Kochsalzauflösung gebracht wurden, geliefert haben.

Digitized by Google

Spannung.	*Physiologische Wirkung.*	*Chemische Wirkung.*
(Durch ein sehr empfindliches Gold-blatt-Elektrometer unterſucht.)	(Die Hände sind dazu mit Salmiakauflöſung befeuchtet und mit Metallmassen armirt.)	(In einer Gasröhre mit Golddrähten, deren Enden ¼ Linie von einander abstehn.)
No. I. Noch unmerklich	bloſs zuweilen ein höchst schwacher Geschmack	noch kein Gas
No. II. (1) kaum zu entdecken	merklicher Geschmack	zuweilen einige Bläschen
No. III. (2) deutlich etwas	stärkerer Geschmack und schwacher Schlag	bestimmt Gas
No. IV. (4) mehr als in III.	starker Schlag	mehr Gas
No. V. (8) gröſser als in IV.	noch stärkerer Schlag	wieder mehr Gas
No. VI. (16) gröſser als in V.	noch stärkerer Schlag	auſserordentlich viel Gas
No. VII. (32) gröſser als in VI.	immer noch stärkerer Schlag	zwar noch viel, aber doch weniger als in VI.
No. VIII. (64) gröſser als in VII.	wieder noch stärkerer Schlag.	wieder weniger Gas
No. IX. (128) gröſser als in VIII.	auſserordentlich starker Schlag bis in die Schultern	nicht eine Spur von Gas
No. X. (256) gröſser als in IX.	noch starker Schlag, aber schwächer als in VIII.	keine Spur von Gas

Ein ganz ähnliches Resultat will Ritter noch auf eine andere Weise erhalten haben, indem er sich einer ganz andern Art von Combinationen bediente, die gleichfalls Ladungsphänomene zeigten. Er baute nämlich eine Säule aus 64 Lagen Zink, Kupfer und wassernassen Pappen, je 32 derselben standen sich mit gleichnamigen Polen entgegen und die ganze Säule gab für sich allein durchaus keine Wirkung. Eine andere aus ebensoviel und gleichen Lagen war so gebaut, daſs sogleich auf jede eine Lage eine zweite folgte, die ihr entge-

Digitized by Google

genstand. Sie zeigte für sich ebenfalls keine Wirkung. Erstere Säule heiſse α, letztere β. Die Volta'sche Batterie zu diesen Versuchen war die vorige und zwei Tage alt, die Säulen α und β ebenfalls. α und β wurden über einander gesetzt und das obere Ende von α mit dem einen, das untere Ende von β mit dem andern Pole der Batterie verbunden. Nach der Trennung aus dem Kreise erhielt Ritter von α und β zusammen starke Schläge, von α und $\frac{1}{2}$ β noch stärkere, von α allein ohne β noch sehr starke, stärkere als alle übrigen, von β allein ohne α etwas schwächere, von $\frac{1}{2}$ α, so daſs von 32 Lagen je 16 sich einander entgegenstanden, wieder schwächere Schläge u. s. f., aber in allen diesen Fällen keine Spur von chemischer Wirkung. So viel Auffallendes diese Versuche dem ersten Anscheine nach haben, so verschwindet dasselbe und damit die daraus gezogene Folgerung auf eine wesentliche Verschiedenheit der Ursache der physiologischen und chemischen Wirkungen, wenn man erwägt, daſs die Schläge mehr von der Gröſse der Spannung und einer nur auf kurze Zeit eingeschränkten Entladung abhängen, die chemischen Wirkungen aber nur durch einen continuirlichen und einigermaſsen gleichförmigen elektrischen Strom zu Stande kommen, zu dessen Unterhaltung die Bedingungen in einer stärker geladenen Ladungssäule fehlen.

Ritter stellte noch viele andere Versuche mit seinen Ladungssäulen, vorzüglich durch Combination mehrerer zu einer gröſseren, so wie derselben mit einer gewöhnlichen Volta'schen Säule an, in welcher sich die Ladungssäule vollkommen wie eine gewöhnliche Volta'sche Säule verhielt.

Von seinen Beobachtungen über die Rückwirkung einer Ladungssäule auf eine Volta'sche beim Vorgange der Ladung verdient hier die Hauptthatsache erwähnt zu werden, daſs im Augenblicke, wo eine Ladungssäule mit einer Volta'schen Batterie verbunden wird, die Spannung letzterer auf einen Grad herabfällt, der um so niedriger ist, je gröſser die Leitung der Ladungssäule selbst ist, die Spannung dann aber nachmals wieder zu steigen anfängt und endlich bei einem Grade stehn bleibt, der um so mehr vom niedrigsten verschieden ist, je gröſser die Spannung ist, mit welcher die Ladungssäule aus der Verbindung hervorgeht. Ist eine Gasröhre im Verbindungskreise, so ist im Augenblicke der Schlieſsung desselben die Gasentwicke-

lung stärker als in irgend einem folgenden Augenblicke; von hier an nimmt sie zusehends ab und bleibt endlich bei einem Grade stehn, von dem sie nicht weiter abweicht. Ist dieses, so ist die Säule auf ihr Maximum geladen, und der Grad der Ladung selbst verhält sich wie die Leitung, welche die Ladungssäule nach der Ladung noch fortgewährt.

Von Marianini's Versuchen, die für die Theorie der Ladung von besonderer Wichtigkeit sind, verdienen hier noch folgende angeführt zu werden. Die Ladung oder polare Spannung an den Enden der Säule ist nichts Feſtes, an den Polen ſelbst Haftendes, und kann daher mit diesen auch nicht versetzt werden, sondern geht jedesmal aus einer innern Thätigkeit derselben hervor; denn als Marianini bei einer geladenen Säule von 12 Kupferplatten die 6 obersten an die Stelle der untersten und diese an die Stelle von jenen brachte, zeigte sich die Spannung durch den Condensator und das Elektrometer untersucht ganz unverändert.

Daſs die feuchten Pappen der Ladungsäule nicht als die Quellen der Elektricität betrachtet werden können, daſs sie selbst nicht durch eine etwaige chemische Veränderung ihrer Flüssigkeit, die sie im Kreise der Volta'schen Säule erlitten, das eigentliche Agens der elektromotorischen Thätigkeit der Säule seyen, bewies der Versuch, daſs die nassen Tuchscheiben, aus einer geladenen Säule schnell herausgenommen und zwischen frische Kupferplatten gebracht, keine Spur von Wirkung gaben, während, wenn an die Stelle dieser Tuchscheiben andere mit Salzwasser befeuchtete eingeschoben wurden, die Spannung sich nur um so viel vermindert zeigte, als im Verhältnisse der Zeit zu erwarten war.

Um auch den Zweifel zu beseitigen, daſs etwa eine dünne Schicht Flüssigkeit, die an den Kupferplatten hängen geblieben war, hierbei mitgewirkt habe, wurden die Metallplatten, ehe die neuen Tuchscheiben dazwischen gelegt wurden, mit einem nassen Tuche abgerieben, dennoch zeigte sich noch die el. Ladung, derselbe Erfolg fand sogar statt, als die Metallplatten noch auſserdem abgetrocknet wurden, ja sogar, als solche abgeriebene Platten längere Zeit vor aller Feuchtigkeit der Luft wohl verwahrt waren, konnte Marianini nach längerer Zeit eine neue wirksame Säule mit ihnen erbauen, wenn er sie mit frischen Tuchscheiben schichtete. Mit gleichem

Erfolge stellte Marianini solche Versuche mit Becherapparaten an. Wurden die Kupferplatten aus ihren Bechern, in welchen je ein Paar, das durch einen Bügel zusammenhing, die Verbindung von einem Becher zum andern machte, herausgenommen und in andere gehängt, so zeigten die Enden gleichfalls polare Spannung, doch muſs man sich hüten, die Platten nicht tiefer als in die vorigen Becher hineinzuhängen, weil sonst die geladene Hälfte der Platte mit der ungeladenen eine partielle geschlossene Kette bildet, wodurch die polare Spannung sehr geschwächt oder ganz aufgehoben wird.

C. Die Theorie.

Die richtige Erklärung der Erscheinungen der Ladungssäule hängt auf das Innigste mit der genaueren Kenntniſs des Vorganges der Ladung der einzelnen Metalle in Form von Streifen oder Drähten im Kreise der Volta'schen Säule zusammen. Indessen hat man diesen Weg im Anfange nicht eingeschlagen, selbst Ritter nicht, der doch von da aus zur Ladungssäule gelangt war. Wenn man die etwas künstliche Darstellung Ritter's genau erwägt, so ergiebt sich deutlich, daſs er in der Ladungssäule eine Ladung im engern Sinne annimmt, nach Art der Ladung einer el. Batterie oder Flasche durch eine gewöhnliche Elektrisirmaschine, und das Räthsel, daſs hier an so guten Leitern eine Ladung auftritt, glaubt er durch den allgemeinen Begriff von Ladung erklärt zu haben, die jedesmal dann eintrete, wenn aus irgend einer Quelle von Elektricität dieselbe so reichlich zuströmt, daſs bei dem Momente von Isolation, das auch bei den besten Leitern noch in Betracht kommt, nicht alles ebenso schnell abgeleitet werden kann, als es zugeleitet wird, wo dann der nicht abgeleitete Ueberschuſs die eigentliche Ladung ausmacht. Nach Ritter soll also der *Leitungswiderstand*, der durch die Abwechselung der Metallplatten mit den feuchten Scheiben hervorgebracht wird, die eigentliche Bedingung der Ladung seyn und eben deswegen die Ladung zunehmen, einerseits durch Vergröſserung des Leitungswiderstandes in Folge der Vervielfältigung der Abwechselungen der Metallplatten mit den feuchten Leitern, andererseits durch Verstärkung des elektrischen Stromes von Seiten der Volta'schen Säule, wodurch nothwendig

der Ueberschuſs dessen, was nicht fortgeleitet wird und was also zur Ladung verwendet wird, zunehmen muſs. Es ist ganz klar, daſs Ritter den ganzen Vorrath von Elektricität, durch welchen die Ladungssäule nachher ihre Wirkungen hervorbringt, als von der ursprünglichen Säule ausgegangen ansehe; dieses ergiebt sich besonders auch daraus, daſs er die Ladung dann als vollkommen geschehn betrachtet, wenn die Ladungssäule ebensoviel fortleitet, als von der Volta'schen Säule zugeführt wird, welcher Zeitpunct daran erkennbar ist, daſs in einer mit in den Kreis gebrachten Gasröhre die Abnahme der Gasentwickelung nun nicht weiter mehr fortschreitet, sondern gleichförmig geworden ist. Ebendiese Ansicht Ritter's ergiebt sich noch daraus, daſs er den Begriff von Capacität hier anwendbar findet und nach dem Producte von dieser in die erhaltene Spannung die Gröſse der Ladung bestimmt, wobei er freilich sich nicht genauer darüber erklärt, von welchen Umständen die Gröſse dieser Capacität abhänge. Die Ladung selbst soll nach ihm an den Metallplatten selbst haften und nicht an den feuchten Pappen, die nur die Bedingung sind, daſs es zur Ladung kommen kann; die feuchten Leiter sollen der Entladung so wenig nützen, daſs sie vielmehr dieselbe auſserordentlich vermindern, und es komme nur darauf an, nach geschehener Ladung bloſs auf irgend eine Weise den feuchten Leiter aus dem Apparate entfernen und alle getrennten Metallplatten in unmittelbare Contiguität zu versetzen, um die Entladungsgröſse des Ganzen um ein sehr Vielfaches zu erhöhn. Diese Theorie, die man, wenn man nicht etwa den Ausdrücken Ritter's einen ganz andern als den gebräuchlichen Sinn beilegen will, nicht anders auffassen kann, als sie hier dargestellt ist, hat nun Marianini durch viele Versuche bestritten und als Haupteinwurf geltend gemacht, daſs bei Zunahme des Leitungswiderstandes in der Ladungssäule, also bei Verlangsamung des elektrischen Stromes durch dieselbe die Ladung vielmehr geringer ausfalle, wenn man nämlich stets dieselbe Flüssigkeit nimmt. Besonders scheint uns aber in dem Versuche Marianini's, daſs bei schneller Umbauung der Säule, indem man die obersten zu den untersten macht und umgekehrt die untersten zu den obersten, doch so, daſs die verschiedenen Flächen ihre relative Lage unverändert behalten, in der Ladung und der Verthei-

Digitized by Google

lung der Pole nicht das Geringste verändert wird, ein entscheidender Beweis gegen eine gleichsam entstandene fixirte Ladung zu sprechen, wie sie Ritter annimmt. Eine ebenso unhaltbare Theorie der Ladung hat Volta selbst aufgestellt, indem er sie auf eine sogenannte Säule zweiter Art, die aus zwei feuchten und einem festen Leiter besteht, zurückzuführen versucht hat. Durch den elektrischen Strom der primären Säule soll nämlich eine Zersetzung des flüssigen Leiters bewirkt werden, eine alkalische Flüssigkeit an der einen Fläche der Metall-(Kupfer-) Platte, eine saure an der andern Fläche sich ansammeln, wodurch, nachdem die Ladungssäule aus dem Kreise der Volta'schen Säule herausgetreten ist, nothwendig bei Schlieſsung der Ladungssäule ein dem vorigen Strome entgegengesetzter hervorgebracht werden müsse. Durch eben diesen Strom werden aber die alkalische und saure Flüssigkeit zu einer entgegengesetzten Vertheilung getrieben werden und eben damit die Ursache des elektrischen Stroms und dieser mit ihr schnell abnehmen und auf 0 herabsinken. Auch die ungeschlossene Säule müſste so scheinbar nach innen sich entladen, weil die getrennten Flüssigkeiten, die durch den elektrischen Strom nicht mehr getrennt gehalten werden, sich allmälig wieder zur Neutralität vereinigen müſsten. Da auch bei der Anwendung des destillirten Wassers eine schwache Säure (Salpetersäure) und Ammoniak gebildet werden, so liegt in diesen der Grund der Bildung einer Säule zweiter Art, die aber sehr schwach seyn muſs, da nur geringe Spuren von diesen Flüssigkeiten sich bilden. Diese Erklärung wird aber durch den einzigen Versuch vollkommen über den Haufen geworfen, daſs die herausgenommenen, wohl abgewaschenen und getrocknet zwischen ganz frische Pappen gelegten Metallscheiben in der Hauptsache dieselben Erscheinungen zeigen, wie wenn sie sich noch zwischen ihren ersten feuchten Leitern befänden. In den Metallplatten selbst ist also die wahre Ursache der Erscheinungen zu suchen, und Marianini hat von dieser Seite das Phänomen vollkommen richtig aufgefaſst, indem er jede einzelne Metallplatte als das Aequivalent zweier Elektromotoren betrachtet, deren entgegengesetzte Oberflächen sich gegen einander wie ein positives und negatives Metall verhalten, wodurch dann die Ladungssäule selbst als eine gewöhnliche Volta'sche Säule erscheint. Die eine Oberfläche,

in welche die Elektricität einströmt (oder gegen welche bei der Annahme zweier el. Ströme der positive Strom gerichtet ist), an welcher folglich der Wasserstoff auftritt, hat sich dem positiven Ende der Spannungsreihe, die andere Oberfläche, aus welcher die Elektricität austritt (gegen welche der negative Strom gerichtet ist), an welcher der Sauerstoff und die Oxydation auftritt, hat sich dem negativen Ende der Spannungsreihe mehr genähert, und das vorher homogene Metall-Continuum hat sich demnach in zwei heterogene Metalle getrennt, stellt ein Plattenpaar dar, und es folgt aus der Art der Vertheilung dieser Veränderung nothwendig, daſs bei der Schlieſsung der Ladungssäule der elektrische Strom eine entgegengesetzte Richtung von derjenigen haben muſs, durch welche die Säule geladen wurde. Alle Erscheinungen, welche die Ladungssäule darbietet, erklären sich nun sehr ungezwungen von selbst, und man begreift leicht, warum durch die Schlieſsung die Säule sehr bald ihre Wirksamkeit verlieren muſs, weil der entgegengesetzte Strom dieselbe Veränderung dann in entgegengesetzter Richtung hervorbringen, d. h. die vorige Beschaffenheit der Metallplatten herstellen muſs, womit die Ladung aufhört. Schwieriger ist die Erklärung der allmäligen Abnahme und des baldigen gänzlichen Verschwindens aller Thätigkeit der Ladungssäule, auch wenn sie nicht geschlossen wird und selbst, auf das sorgfältigste mit Firniſs umgeben, gegen die Einwirkung der Luft auf das vollkommenste geschützt ist. Die Erklärung dieser Selbstentladung hängt auf das genaueste mit der Einsicht in das wahre Wesen der Veränderung, welche die Metalle in Folge des Durchgangs des elektrischen Stromes erleiden, zusammen, eine Veränderung, welche bis jetzt noch nicht gehörig aufgeklärt ist. Als nächster Erklärungsgrund bietet sich eine entgegengesetzte chemische Veränderung, welche die Metalle an ihren entgegengesetzten Oberflächen erleiden, dar, welche übereinstimmend ist mit der entgegengesetzten Veränderung, welche einerlei Metallstreifen, wenn der eine als Leiter des positiven, der andere als Leiter des negativen Pols dient, erleiden, worauf wir schon oben aufmerksam gemacht haben. Wirklich hat auch schon Brugnatelli [1] aus dieser Veränderung die Thätigkeit

---

1 G. XXII. 202.

der secundären Säule abgeleitet und als entscheidenden Beweis dafür den Umstand angeführt, daſs gerade diejenigen Elektromotoren, welche sich zur Erbauung einer secundären Säule am geeignetsten zeigen, als Kohle, Gold und Silber, auch diejenigen sind, welche da, wo sie mit negativer Polarität auftreten, eine sehr auffallende Veränderung erleiden, nämlich sich hydrogenisiren, und das gebildete Hydrür, welches, wie sich Brugnatelli überzeugte, ein sehr vollkommener Leiter der Elektricität ist, als sehr wirksamer positiver Elektromotor gegen den andern Draht oder die entgegengesetzte Oberfläche, welche diese Veränderung nicht erlitten hat, auftritt. Brugnatelli führt namentlich von der Kohle an, daſs sie als Leiter des negativen Pols ausbleiche in Folge des Wasserstoffs, der sich nicht als Gas an ihr entwickele, sondern sich mit derselben verbinde. Am Graubraunsteinerz habe ich selbst eine analoge Veränderung wahrgenommen, indem sich an derjenigen Stelle, welche als Leiter des negativen Pols dient, kein Gas entwickelt und sich braune Flecken dendritisch anlegen. An Gold und Silber bildet das Hydrür einen deutlich schwarzen Ueberzug. Man würde diesemnach begreifen, warum gerade diese nach dem negativen Ende der Spannungsreihe hin gelegenen Elektromotoren zu den Ladungsphänomenen vorzüglich geschickt sind, dagegen die mehr positiven Metalle schwache und das Zink so gut wie gar keine Wirkung geben, weil diese sich mit dem Hydrogen nicht verbinden und die Oxydschicht, die sich an der positiven Seite bildet, wegen ihrer isolirenden Eigenschaft in den elektromotorischen Proceſs nicht eingehn kann. Solche Hydrogenschichten, auch wenn sie nur höchst oberflächlich sind, gleichsam nur einen Hauch bilden, können doch schon vollkommen hinreichen, da es ja bekannt ist, daſs kleine Veränderungen in der Glätte der Oberfläche der Metalle ihren elektromotorischen Werth schon verändern, und Platin nebst Kupfer könnten immerhin eine solche oberflächliche Veränderung durch Hydrogenisirung erlitten haben, wenn sie gleich an diesen Metallen äuſserlich nicht in die Augen fällt. Allein diese Erklärung reicht nicht mehr in allen Fällen aus, seitdem De la Rive und Pfaff gezeigt haben, daſs die Ladungsveränderung sich nicht bloſs auf diejenige Metalloberfläche einschränkt, welche mit der Flüssigkeit in Berührung gestanden

und möglicher Weise eine chemische Veränderung erlitten haben könnte, sondern sich auf denjenigen Theil des Metalls erstreckt, welcher dem elektrischen Strome als Leiter diente. Ebendieses hat De la Rive bewogen, die ganze Erscheinung auf einen eigenthümlichen Zustand zu beziehn, den er den elektrodynamischen nennt, indem er annimmt, daſs durch das Durchströmen der Elektricität durch feste Leiter das elektrische Gleichgewicht in denselben in der Richtung dieses Stromes gestört werde, wodurch dann, sobald die Ursache dieser Störung zu wirken aufhöre, ein entgegengesetzter Strom veranlaſst werden müsse, sofern dieses Gleichgewicht sich nach der entgegengesetzten Richtung wieder herstellen müsse.

„Ich nehme an" sagt De la Rive[1], „daſs der in einem Leiter erregte elektrische Strom nichts anderes sey, als eine Folge von raschen Zersetzungen und Wiederherstellungen der feinen Theilchen eigenthümlicher Elektricität. Um nun zu begreifen, wie in einem Metallstreifen, Drahte u. s. w., der z. B. mit dem positiven Pole in Verbindung stand, die Elektricität frei werde, betrachten wir nur eine Reihe von Theilchen, da für alle übrige dasselbe gilt. Das Theilchen a, welches unmittelbar mit der Flüssigkeit in Berührung steht, ist + auf Seiten der Flüssigkeit und — auf Seiten des folgenden Theilchens, das Theilchen b ist + gegen das — des Theilchens a und — auf Seiten des folgenden Theilchens c, und so fort. Das + des Theilchens a wird neutralisirt vom — des zersetzten flüssigen Theilchens, das + des Theilchens b vom — des Theilchens a u. s. w. Ich nehme den Draht heraus; er befindet sich dann in einem Zustande, der in Bezug auf die Elektricität demjenigen ziemlich ähnlich ist, den man nach der Coulomb'schen Theorie im Stahle hinsichtlich des Magnetismus annimmt. Sein positives Ende ist nicht mehr durch das negative Element der Flüssigkeit neutralisirt und kann sich nicht vereinigen mit dem — desselben Theilchens a, welches von dem + des Theilchens b zurückgehalten wird, wenigstens wenn man, wie beim Magnet, eine Art von Coërcitivkraft annimmt. Der am negativen Ende der Säule befestigte Draht befindet sich in einem ähnlichen Zustande, nur wird hier das — durch das + und das + durch das — ersetzt.

1 Poggendorff's Ann. X. 431.

Digitized by Google

Verbinde ich die so elektrisirten Drähte entweder unter sich oder mit einem andern Leiter mittelst des Multiplicators, so wird jedes Theilchen sich wieder in seinen natürlichen el. Zustand versetzen können und sein + durch sein eigenes — und nicht durch das — des folgenden neutralisiren. Diese Wiederherstellung wird zu einem Strome von entgegengesetzter Richtung Veranlassung geben, wie der, welcher die Drähte elektrisirte. Denn dieser geht in jedem Theilchen vom — zum +, d. h. in der Richtung, in welcher die + fortgeführt werden, wie es der obere Pfeil anzeigt, der andere, welcher die Wiederherstellung bewirkt, geht ebenfalls in der Richtung, in der die + fortgeführt werden, wie es der untere Pfeil andeutet. Es ist daher nicht wunderbar, daſs der von den Drähten entwickelte Strom, dem Versuche gemäſs, in seiner Richtung dem Strome entgegengesetzt ist, welcher ihnen von dem elektrodynamischen Vermögen eingeprägt wird.“ Die Nothwendigkeit der Mitwirkung des flüssigen Leiters sucht De la Rive auf folgende Weise zu erklären: „Wenn die Leiter, welche zu zweien die vier Enden verbinden, beide metallischer Art sind, so ist kein Grund vorhanden, weshalb das Gleichgewicht sich in der einen Richtung mehr als in der andern wieder herstellen sollte, während, wenn einer der Leiter ein flüssiger ist, seine Gegenwart, indem sie die Kette schlieſst (eine nothwendige Bedingung zu der Wiederherstellung), nicht hindert, daſs der Strom mit gröſserer Leichtigkeit durch den metallischen Leiter geht und den Drähten erlaubt, sich zu entladen und auf ihren natürlichen Zustand zurückzukommen.“

Fig. 22.

Diese Erklärung bringt die elektrische Ladung unter einerlei Schema mit der Art der Vertheilung der magnetischen Polaritäten in einem Magnete, gemäſs der Coulomb'schen Ansicht, und diese Analogie glaubt De la Rive besonders durch die schon oben erwähnte Beobachtung an einem Platindrahte bestätigt, der für sich allein beide elektrische Pole zeigt, wenn er das Verbindungsglied zwischen zwei Flüssigkeiten gebildet hat, in deren jede einer der Polardrähte einer Volta'schen Säule getaucht war, und der in zwei Hälften getheilt abermals an beiden Enden jeder einzelnen Hälfte entgegengesetzte Pole zeigt. Von jener Coërcitivkraft, die auch die besten Leiter noch haben, hängt es auch ab, daſs einige Zeit erforderlich ist, bis

die Drähte ihr Maximum von Ladung erhalten und daſs diese selbst mehr oder weniger lange dauert. Wenn man nun auch der Idee De la Rive's von dem Vorgange der Leitung beistimmt, wenn man ferner auch begreift, warum die Wiederherstellung des elektrischen Gleichgewichts nach geschehener Ladung nur durch einen Strom in entgegengesetzter Richtung geschehen kann, so ist die Nothwendigkeit der Bedingung der Schlieſsung der Kette durch einen flüssigen Leiter durchaus nicht nachgewiesen, sondern nur postulirt, man sollte vielmehr erwarten, daſs, wenn jeder der geladenen Drähte mit dem einen Ende mit dem Multiplicator verbunden ist, dieser jene Wiederherstellung des Gleichgewichts nur um so schneller vermitteln würde; allein bei dieser halben Schlieſsung zeigt sich auch nicht die leiseste Spur eines el. Stromes, die Magnetnadel wird nicht im geringsten afficirt.

Wenn De la Rive diese Art der Reaction der Metalle, nachdem sie aus dem Kreise der primären Säule getreten sind, durch welche ihnen gleichsam ihr neuer Zustand aufgezwungen worden ist, durch Anknüpfung an bekannte Phänomene und durch eine wirkliche Construction des Vorganges begreiflich zu machen gesucht hat, so hat dagegen Pohl [1] diese Reaction der Metalle ganz willkürlich auf eine Kraft derselben zurückgeführt, die in nichts von dem sich unterscheidet, was man in der Physik eine *Qualitas occulta* nennt. Ihm zufolge soll nämlich der Zustand, in welchen die Metalle in der Ladungssäule (oder in der einfachen Ladungskette) während ihrer Verbindung mit den Polen der Volta'schen Säule versetzt werden, ein *gezwungener* seyn, aus welchem sie sich durch eine schon mit ihrer metallischen Natur gegebene Reactionskraft wieder in ihren vorigen Zustand zurückzuversetzen suchen, eine Kraft, die sogleich thätig wird, sowie der *äuſsere Zwang* aufhört, und welche sie alsdann sogar den natürlichen Zustand nach einer der vorhergehenden entgegengesetzten Richtung überschreiten macht, sowie eine Saite, die sich wieder herstellt, über die ursprüngliche gerade Richtung hinausgeht. Soll diese Analogie hier gelten, so müſste die Ladungssäule gerade

1 Ueber die Phänomene der sogenannten elektrischen Ladung in Kastner's Archiv VI. 385. und in der Schrift: Der Proceſs der galvanischen Kette. S. 142.

Digitized by Google

so, wie die Saite, dann aber auch wieder, nachdem sie über ihren natürlichen Zustand hinausgegangen, zu diesem nicht bloſs zurückkehren, sondern abermals über diesen hinaus, aber in ihren frühern *sogenannten gezwungenen* Zustand, zurückkehren und auf diese Weise nur durch Oscillationen zwischen abwechselnden Polaritäten ihren natürlichen Zustand erreichen. Nichts dergleichen hat man bis jetzt bei der Ladungssäule beobachtet, ihre Polarität nimmt vielmehr stufenweise ab, zeigt kein Fallen und Steigen, noch viel weniger eine Umkehrung. Und was hat man an dieser Reactionskraft im Grunde mehr gewonnen, als einen andern Ausdruck für die reine Thatsache? Man erinnert sich dabei unwillkürlich an die Warnung Haller's, doch nicht über das natürliche Kleid der Dinge, an welchem sich unser Auge stöſst, noch ein neues zu ziehn, an welchem sich unsere Einbildungskraft stöſst, noch ehe das Auge bis zu jenem undurchschaubaren hindurchgedrungen ist.

Wir gestehn aufrichtig, daſs wir selbst uns bis jetzt nicht im Stande fühlen, eine ganz befriedigende Erklärung der Ladungserscheinung zu geben. Soviel halten wir für ausgemacht, daſs eigentliche chemische Veränderungen der Metalle hier nicht in Anspruch genommen werden können, wenn sie gleich in andern Fällen zu ähnlichen Erscheinungen Veranlassung geben. Die Elektricität selbst muſs hier als die nächste Ursache der Veränderung des elektromotorischen Werthes der Metalle angesehn werden, nicht jene, welche sich mit freier Spannung an der Oberfläche der Leiter thätig zeigt, sondern jene, welche gleichsam tiefer in das Innere eingedrungen ist und eine neue elektrische Begeistung der kleinsten Theilchen bedingt. Daſs der elektrische Strom der Säule bei seinem Durchgange durch Leiter die Masse derselben wirklich in Anspruch nimmt, nicht bloſs an ihrer Oberfläche fortgeleitet wird, sondern ins Innerste eindringt, ist besonders durch H. Davy's Versuche[1] auſser allen Zweifel gesetzt worden. Durch dieses Eindringen ist ohne Zweifel die Veränderung bedingt, welche wir Ladung nennen. Sie scheint den elektromotorischen Charakter, nach dem Gegensatze der Elektricitäten, von welchen sie abhängt, auf eine entgegengesetzte Weise zu bestimmen und durch das coërcitive Moment eine Zeit lang in den Me-

1 Phil. Trans. 1821. P. II. p. 434.

Digitized by Google

tallen feſtgehalten zu werden. Darum iſt es aber nicht etwa eine Anhäufung von relativ gebundener Elektricität, die ſich dann wieder allmälig entladet, welche die Thätigkeit der Ladungsſäule als nächſte Urſache beſtimmt, ſondern nur als entfernte, inſofern der elektromotoriſche Charakter dadurch beſtimmt wird, und eben darum ſind alle übrige Bedingungen zum elektriſchen Strome auch hier erforderlich, wie bei der gewöhnlichen galvaniſchen Kette, nämlich Schlieſsung durch einen Leiter der zweiten Claſſe.

Daſs dieſer ſo merkwürdige Ladungsproceſs auch auf die Erſcheinungen einer gewöhnlichen Volta'ſchen Säule ſeinen Einfluſs äuſsern müſſe, iſt einleuchtend, und die Erfahrung beſtätigt es vollkommen. So wie durch Schlieſsung einer Volta'ſchen Säule der elektriſche Strom eingeleitet wird, wirkt die beginnende Ladung entgegen, (das negative Metall nimmt einen mehr poſitiven, das poſitive einen mehr negativen Charakter an und die Wirkſamkeit der Säule muſs eben damit geſchwächt werden. Wird die Säule dann geöffnet, ſo verſchwindet in kurzer Zeit die erfolgte Ladung durch eine Selbſtentladung nach Innen, die Säule erholt ſich gleichſam wieder und bei neuer Schlieſsung wirkt ſie mit der frühern Kraft.

Daſs die Interpolation von negativen Metallen (Gold, Silber) zwiſchen die flüſſigen Leiter den elektriſchen Strom einer Volta'ſchen Säule in einem viel höhern Grade ſchwächt, als die Interpolation von mehr poſitiven Metallen (Blei, Zink), wovon ſchon im Artikel *Galvanismus* S. 817 und S. 972 die Rede geweſen iſt, hängt übrigens mit dem Phänomene der Ladung auf das genaueſte zuſammen.

Ritter's ſanguiniſche Hoffnung, durch die Ladungsſäulen die galvaniſchen Wirkungen ebenſo verſtärken zu können, wie man die Wirkungen der gewöhnlichen Elektricität durch die elektriſchen Batterieen verſtärkt hat, iſt nicht in Erfüllung gegangen. Man kann ihre Spannung nie ſo weit treiben, als die Spannung der Volta'ſchen Säule, und die Ladung und davon abhängige Thätigkeit iſt nur ſehr vorübergehend. So iſt die Ladungsſäule nur für die Theorie von Intereſſe geblieben.

Digitized by Google

III. Trockene, ſogenannte Zamboni'ſche Säule.

Mehr als eine Rückſicht muſste die Phyſiker bei dem groſsen Intereſſe, welches die wichtigſte Erfindung unſers Jahrhunderts, die der Volta'ſchen Säule einflöſste, in ihren unverdroſſenen Experimental-Unterſuchungen über dieſelbe zur Auffindung einer im ſtrengen Sinne *trockenen* Säule, aus welcher alle Feuchtigkeit und mit dieſer auch der chemiſche Proceſs ausgeſchloſſen wäre, antreiben. Eine ſolche Säule, einmal gefunden, ſchlichtete auf eine peremtoriſche Weiſe den theoretiſchen Streit, der mit der erſten Bekanntwerdung der Säule ſich auch entſponnen hatte, den Streit über die eigentliche Quelle und erregende Urſache jenes ſo mächtigen elektriſchen Stromes der Säule, ob nämlich, wie Volta zuerſt gelehrt hatte, die bloſse elektromotoriſche Kraft der Metalle ohne andere Mitwirkung durch Störung des *natürlichen Gleichgewichts* der *Elektricität* die Urſache der polaren Trennung und Anhäufung der Elektricität und damit bei der Schlieſsung der Kette des Stromes ſelbſt ſey, auf deſſen Schnelligkeit der feuchte Zwiſchenleiter nur durch ſeinen verſchiedenen Leitungswiderſtand einwirke, oder ob nicht vielmehr der feuchte Leiter, ſofern er als ein ganz unentbehrliches Glied zur Conſtruction einer wirkſamen Säule angeſehn wurde, durch den von ihm abhängigen chemiſchen Proceſs und zwar insbeſondere durch Oxydation des einen Metalls die Elektricität erſt errege, oder ob wenigſtens dieſer chemiſche Proceſs, wenn auch nicht die einzige, doch eine nothwendig mit vorhanden ſeyn müſſende Urſache des eigentlichen Stromes ſey. Dann verſprach aber auch der Fund einer wahrhaft trockenen Säule ſehr groſse Vortheile vor der gewöhnlichen naſſen Säule. Dieſe zerſtört ſich ſelbſt und ihre Wirkſamkeit durch eben jenen chemiſchen Proceſs, welcher, mag er Urſache oder Wirkung ſeyn, unzertrennlich von jener Wirkſamkeit iſt. Um naſſe Säulen in gehöriger Energie zu erhalten, müſſen ſie ſtets wieder nach einiger Zeit auseinander genommen, die Metalle gereinigt, die Zwiſchenlagen erneuert werden, was beſonders bei mächtigen Säulen ein höchſt mühſeliges Geſchäft iſt und am Ende doch zur Zerſtörung der Säule führt. Wahrhaft

Digitized by Google

trockene Säulen, wenn sie gefunden werden konnten, versprachen eine unvergängliche Thätigkeit, aller jener Mühe durfte man dann hoffen überhoben zu seyn, und zugleich eröffnete sich die Aussicht zu einer leichtern Vergröſserung der Säulen fast ins Ungemessene und zur Darstellung von Resultaten, die in theoretischer wie in praktischer Hinsicht gleich wichtig seyn muſsten.

Nach allen diesen Rücksichten kann es daher nicht überraschen, daſs gleich von Anfang an die Bemühungen einzelner Physiker auf diesen Gegenstand gerichtet waren, und es muſs vielmehr in Verwunderung setzen, daſs diese ersten Bemühungen theils gar nicht beachtet wurden, theils wieder in Vergessenheit geriethen, bis nach einem längeren Stillstande den Forschungen der Physiker in dieser Richtung ein neuer Impuls gegeben wurde und die Federn der Gelehrten, so wie die Hände der Künstler, eine vielfache Beschäftigung erhielten, bis gröſsere Entdeckungen auch diesen Gegenstand wieder in den Hintergrund brachten.

A. Das Historische.

Die ersten Bemühungen in der angezeigten Hinsicht verdanken wir dem unermüdlichen Ritter. Schon im Februar 1802 errichtete er Säulen, die man als die ersten trockenen betrachten kann, indem er als Zwischenleiter zwischen den Plattenpaaren aus Zink und Kupfer statt der nassen Pappe Scheiben von *Schafleder*, *Wachstuch*, auch *dünne Glasplatten* versuchte. Die Zahl der Abwechselungen war 600. Er erkannte schon ganz richtig die Eigenthümlichkeit der sogenannten trockenen Säule, zeigte aber auch bereits durch vergleichende Versuche, daſs sie ihre Wirksamkeit nur hygrometrischer Feuchtigkeit verdanke, indem bei möglichster Austrocknung ihrer Zwischenleiter alle Wirkung derselben ausblieb[1]. Ungefähr gleichzeitig mit Ritter versuchten die französischen Physiker Hachette und Desormes[2] verschiedene trockene Substanzen

1 Diese Versuche wurden von ihm in No. 66. des Reichsanzeigers vom Jahre 1802 bekannt gemacht, wieder abgedruckt in seinen phys. chem. Abhandl. II. S. 270. Vgl. eine Notiz von denselben im Novemberheft des Intelligenzblattes der Allgem. Lit.-Zeit. vom Jahre 1803.

2 G. XVIII. 109. fg.

Digitized by Google

als Zwischenleiter in der Volta'schen Säule und fanden Kraftmehl theils für sich, theils mit Salzen vermischt, vorzüglich dazu geeignet. Damals suchte auch Allizeau[1] denselben Zweck (Verhinderung der Oxydation der Metalle und Unwandelbarkeit der Säule in ihrer Wirkung) dadurch zu erreichen, daſs er das Metallplattenpaar zusammenlöthete, in einen starken überfirniſsten Metallring faſste und auf die Zinkseite einen Ring von Fayence oder Porzellan kittete, in welchen grobes Kochsalz mit etwas Wasser befeuchtet als Zwischenleiter gebracht wurde. Diese Säule, wenn gleich den mit ihr angestellten Versuchen zufolge ihre Wirksamkeit Wochen hindurch sich so gut wie ungeschwächt erhielt, kann indeſs nicht eigentlich unter die Kategorie der trockenen Säulen gebracht werden. Dagegen gehört allerdings hierher die von Biot[2] bei Gelegenheit seiner Untersuchung über den Antheil der Oxydation an der Elektricitätserregung in der Säule in Anwendung gebrachte Säule aus Scheiben von geschmolzenem Salpeter als Zwischenleiter, die wenigstens von theoretischem Interesse war.

Einen Schritt weiter zur bequemen Construction trockener Säulen that Behrens[3], dessen schon im Jahre 1802 und 1803 angestellte Versuche im Jahre 1806 bekannt gemacht wurden. Er fand durch Hitze so viel als möglich ausgetrockneten *Feuerstein* als Zwischenleiter ebenso wirksam, wie feuchte Pappe, was aber noch wichtiger war, er wandte zuerst gewöhnliches unächtes Goldpapier (auf der einen Seite mit einer dünnen Schicht Kupfer belegt) mit Zink zur Errichtung von Säulen an, in welchen das Goldpapier zugleich die Stelle des Kupfers und des feuchten Zwischenleiters vertrat, und bestimmte schon sehr genau alle elektroskopischen Verhältnisse einer solchen Säule. Gleichzeitig mit den Versuchen von Behrens wurden die auf denselben Zweck gerichteten von Marechaux angestellt[4]. Als Zwischenleiter der Plattenpaare von Zink und Messing wandte er Scheiben von trockener Pappe an, substituirte auch in einer solchen Säule dem Messing das

1 Allizeau's galvanische Säule u. s. w. G. XVIII. 109.
2 G. XV. 90. XVIII. 129.
3 G. XXIII. 2. 4.
4 G. XXII. 313. 318.

Digitized by Google

Reiſsblei und glaubte besonders an solchen Säulen eine ganz eigenthümliche elektrische Ebbe und Fluth beobachtet zu haben. Erman[1] prüfte damals diese mit dem ihm eigentlichen Scharfsinne und zeigte schon damals durch entscheidende Versuche, daſs diese vermeintlich trockenen Säulen ihre Wirksamkeit einzig einem Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit verdanken und die Fluctuationen in ihrer Wirksamkeit wohl nur allein von dem Wechsel dieser hygrometrischen Feuchtigkeit abhängig seyn möchten.

Eine besondere Aufmerksamkeit widmete vom Jahre 1808 bis 1810 J. A. de Lüc[2] den trockenen Säulen, in denen als das eine Element unächtes *Goldpapier* diente, auf dessen Anwendung er von selbst, ohne von Behrens Arbeiten etwas zu wissen, gekommen zu seyn scheint. Durch Vereinigung mehrerer solcher Säulen, nämlich einer horizontalen von 600 Paaren Zink und unächtem Goldpapier von ½ Zoll Durchmesser, einer verticalen Säule von 300 Paaren viereckiger Platten Zink und Goldpapier von ¾ Zoll Seite und einer Säule von 700 Platten Weiſsblech und Goldpapier brachte er einen so wirksamen Apparat zu Stande, daſs dadurch eine kleine, an einem Faden hängende Kugel in fortdauernde schwingende Bewegungen zwischen zwei Kugeln, die mit den entgegengesetzten Polen der Säule verbunden waren, versetzt wurde, an welcher Säule er ein neues meteorologisches Instrument zur Ausmittelung der Elektricität der Luft und des Erdbodens gewonnen zu haben glaubte. Während de Lüc im April und Mai 1810 mit seinen Beobachtungen an dieser Säule zu Windsor beschäftigt war, hatte Forster zu Waldhamstow unweit London aus drei rosenkranzartigen Säulen (die Zink- und Goldscheiben waren ähnlich nach de Lüc's erstem Verfahren auf seidenen Schnüren nach Art eines Rosenkranzes aufgereiht worden) eine Säule von 2500 Plattenpaaren zu Stande gebracht, wodurch eine kleine Metallkugel in Bewegung gesetzt wurde, welche zwischen zwei isolirten, mit den Polen der Säule verbundenen Glocken hing, und dieses kleine Glockenspiel kam zum erstenmal am 25. März 1810 zum Tönen.

---

1 Ueber die Periodicität des Galvanismus. G. XXV. 1.

2 Eine trockene elektrische Säule und ein atmosphärisches Elektroskop. G. XLIX. 100 fg.

Digitized by Google

Diese Versuche wurden indeſs in Deutschland nicht gehörig bekannt, denn aus dieser Zeit finde ich in deutschen Journalen nur einen einzigen Aufsatz, der sich auf de Lüc's Versuche bezog und sie einer Prüfung unterwarf, nämlich von Schübler[1], und erst mehrere Jahre später, 1814, kam von Italien aus der neue Impuls zur Beschäftigung mit den sogenannten trockenen Säulen. Durch de Lüc's Arbeiten war nämlich der Abbate Zamboni, Professor der Physik am Lyceum zu Verona, veranlaſst worden, sich mit trockenen Säulen zu beschäftigen. In Brugnatelli's Giornale di Fisica, Chimica etc., und zwar im Decemberhefte von 1812, erschien seine Dissertazione sulla Pila elettrica a secco, und als Fortsetzung derselben im Januarhefte 1813. p. 31 — 43. Descrizione della Colonna elettrica del Signore de Lüc. Als nach der Zertrümmerung des Königreichs Italien der Vicekönig Prinz Eugen München zu seinem Aufenthalte nahm, wurde Zamboni's trockene Säule von dem Ritter Assalini, Dr. Med. und Professor der Chirurgie, der Münchener Akademie den 14. Juni 1814 vorgezeigt[2], von welchem auch damals in einem gedruckten einzelnen Bogen eine Beschreibung und Abbildung der Zamboni'schen Säule im Druck erschien. Nach diesem Muster verbreiteten sich bald die trockenen Säulen in Deutschland, der Schweiz und Frankreich und wurden ein Gegenstand der sorgfältigsten Untersuchungen. Vorzüglich beschäftigte sich damit der früher schon um die Lehre vom Galvanismus hochverdiente Leibmedicus Jaeger in Stuttgart und verfaſste eine Reihe von Aufsätzen, die vorzüglich bestimmt waren, die Theorie derselben aufzuklären[3]. Nächst ihm erwarben sich vorzügliche Verdienste um die genauere Erforschung der Erscheinungen der trockenen Säule der Professor Bohnenberger in Tübingen[4] und Parrot in Dorpat[5], der vorzüglich die Nothwendigkeit eines chemischen Processes zur

1 Schweigger's Journal VII.

2 Vgl. Dr. Ruhland's Nachricht über die Zamboni'sche Säule in Schweigger's Journ. XI. 16. und einige historische Nachrichten von der trockenen el. Säule von de Lüc und Zamboni in G. XLIX. 35.

3 G. XLIX. 47. LI. 87. LII. LV. 369. LXII. 227.

4 Tübinger Blätter für Naturwissenschaft und Arzneikunde. Bd. II. und im Auszuge in G. LIII. 316.

5 G. LV. 163.

Digitized by Google

Unterhaltung der Thätigkeit einer Zamboni'schen Säule nachzuweisen suchte.

Als meteorologisches Instrument, nämlich als ein neues Luftelektrometer, wozu de Lüc die trockene Säule vorgeschlagen, wurde sie in ihrer etwas veränderten Gestalt von neuem durch Schübler[1] geprüft. Auch Placidus Heinrich stellte in dieser Hinsicht eine Reihe von Beobachtungen mit der Säule an[2]. Der Akademiker Yelin in München machte endlich noch im Jahre 1818 eine Abhandlung über die Zamboni'sche Säule bekannt, in welcher derselben mehr als eine interessante Seite abgewonnen ist. Auſserdem habe ich selbst, Schweigger, Montanus Lüdicke, Müller, Bechstein u. a. Beobachtungen an dieser Säule bekannt gemacht.

B. Construction der Zamboni'schen Säule. Verschiedene Einrichtungen derselben.

Die zuerst von Zamboni in Gang gebrachte trockene Säule, wie der Ritter Assalini sie der Münchner Akademie vorgezeigt hatte, bestand aus Scheiben ungeleimten *unächten Silberpapiers* (Papier, welches mit einer dünnen Lage von Zinn und Zink überzogen ist), das auf der nicht metallischen Seite mit einem Teig von *Braunstein* (Mangan-Hyperoxyd oder Graubraunsteinerz) und *Honig* belegt ist. In einer inwendig und auswendig mit Siegellack überzogenen Glasröhre, welche auf einem Fuſsgestelle von Messing steht, waren 2000 solcher Scheiben zu einer Säule über einander geschichtet, so daſs alle einzelne Scheiben mit ihrer Silberseite nach der einen, mit der Braunsteinfläche nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sind. Die Glasröhre ist oben mit einer messingenen Kappe, die mit einem Knopfe versehn wird, verschlossen und mit dieser Messingfassung ist die oberste Platte durch einen Draht verbunden. Auſser diesen neuen Materialien, durch welche sich diese Zamboni'sche Säule von den frühern trocknen Säulen unterschied, machte aber besonders ihre Anwendung zur Bewegung eines Pendels, worin jedoch, wie wir schon oben bemerkt haben, de Lüc und Forster dem Zamboni vorangegangen waren, damals groſses Aufsehn. Zam-

1 Schweigger's Journ. XV. 126.
2 Ebendas. XV. 113.

Digitized by Google

boni stellte nämlich zwei solche völlig gleiche Säulen 4 bis 5 Zoll weit von einander auf und zwischen ihnen auf einem eigenen Gestelle eine in der Mitte durchbohrte und wie die Inklinationsnadeln um eine horizontale Axe bewegliche Nadel, die ungefähr $\frac{2}{3}$ der Länge der Säule hatte. Sie wird abwechselnd von der einen und der andern Säule angezogen, und diese Bewegung dauert ebenso ununterbrochen fort, als die Wirksamkeit der Säule. Nach der damals von Assalini mitgetheilten Nachricht sollte Zamboni einen solchen Apparat besitzen, durch welchen die Nadel bereits seit zwei Jahren in gleichförmiger Bewegung sich befunden habe, ohne daſs bis dahin sich die geringste Abnahme ihrer Bewegung gezeigt hatte.

In der Abbildung dieses Apparats sieht man die beiden Fig. 23. Säulen und die zwischen ihnen befindliche Nadel von vorn, Fig. 24. in der folgenden die Nadel mit ihrem Träger von der Seite gezeichnet. Die Füſse der beiden Säulen F F und ihre Knöpfe D D sind von Messing, die Glasröhren P I, P I, welche mit Mastixfirniſs (oder nach einer andern Angabe mit Siegellack) überzogen sind, schlieſsen die beiden trockenen Säulen in sich. Zugleich ist eine dieser Säulen abgebildet. Sie besteht aus Fig. 25. 2000 Scheiben von unächtem Silberpapier, an ihrer Papierseite mit Honig und Braunstein eingerieben, von 4 bis 5 par. Lin. Durchmesser, und zwei kreuzweise um sie gebundene seidene Fäden vereinigen sie zu einer Säule, welche von auſsen mit Mastixfirniſs (oder Siegellack) überzogen ist. Die unterste Scheibe steht mit dem Messing des Fuſses und die oberste mit dem Messing des Knopfes durch die Drähte P, P in Berührung. In A B C sieht man die Nadel abgebildet. Ihr oberer Theil C C besteht aus einer dünnen, mit Mastixfirniſs überzogenen Glasröhre; es sind h h die horizontale Axe und v v die Stützpuncte derselben, der Halbmond x dient als Gegengewicht der obern Hälfte der Nadel und läſst sich herauf- und herunterschieben, M N ist der Arm, der die Nadel trägt, P der Fuſs.

Später brachte Zamboni einige Verbesserungen an seiner trockenen Säule an[1]. Er schreibt in einem Briefe an Pictet

---

1 In einem Briefe aus Verona den 15. Jan. 1815. in G. LI. 182.

vor, die Papierseite des Silberpapiers mit Baumöl zu bestreichen, dieses mit einem linnenen Lappen sorgfältig abzuwischen und dann gepulverten Braunstein darauf zu sieben. Statt dessen könne man auch die Metallseite des Silberpapiers mit einer gesättigten Auflösung des salzsauren Zinks benetzen und, wenn diese dem Anscheine nach von selbst eingetrocknet ist, den gepulverten Braunstein darauf sieben. Bei diesem letzten Verfahren theilte die Säule die ihr eigenthümliche Elektricität weit geschwinder mit. Was die Erhaltung der Kraft der Säule betrifft, habe er mancherlei Versuche mit seiner Säule angestellt, er habe sie in isolirenden Mastix wie vergraben, er habe sie in Glasröhren gesetzt und diese mit gepulvertem Mastix oder Siegellack angefüllt, begnüge sich aber jetzt, sie in Glasröhren, die innerlich und äuſserlich mit Firniſs überzogen sind, einzuschlieſsen, ohne zwischen Säule und Röhre noch einen andern isolirenden Körper zu bringen, jedoch so, daſs die Wände des Glases die Säule nirgends berühren. Beide Enden der Glasröhre werden durch Korke und Mastix hermetisch verschlossen und durch isolirt durchgehende Drähte nach Bedürfniſs die nöthigen leitenden Verbindungen mit den Polen der Säule vermittelt. Noch später [1] glaubte Zamboni eine wichtige Verbesserung seiner Säule dadurch erreicht zu haben, daſs er die Rückseite des Silberpapiers mit einer mäſsig starken Auflösung von schwefelsaurem Zink in Wasser näſste, und nachdem durch Trocknen alle andere Feuchtigkeit, als die dem Papiere von Natur eigene, entfernt worden, über das auf dem Papiere sitzende Salz gepulverten und gut getrockneten Braunstein einrieb und dann schnell die Scheibenpaare bildete.

In dieser Zeit wurden von verschiedenen Instrumentenmachern in Paris (Dumotiez [2]), München (Ramis), Tübingen (Butzengeiger [3]) u. s. w. sogenannte Zamboni'sche Säulen verfertigt und vorzüglich zu Pendelversuchen eingerichtet, zu diesem Zwecke die isolirten Drähte der Pole mit Metallglocken versehn, die Säulen selbst, um sie wo möglich unwandelbar zu machen und gegen äuſsere Einflüsse zu schützen,

1 G. LX. 152.
2 G. XLIX. 189.
3 G. LI. 189.

entweder mit Schwefel umgossen, oder mit geschmolzenem Siegellack auf das sorgfältigste überzogen. Eine Hauptabweichung von der Zamboni'schen Einrichtung, die namentlich Jæger und Bohnenberger einführten, war aber, daſs dem negativen Elektromotor aus Braunstein *unächtes Goldpapier* (Papier mit einer dünnen Schicht Kupfer) substituirt und dadurch die Verfertigung solcher Säulen sehr erleichtert wurde. Man leimt die Bogen Silber- und Goldpapier mit ihrer Papierseite auf einander, und indem man ein Dutzend solcher Doppelbogen oder auch noch mehr auf einander legt, kann man mit einem Schlage durch ein dazu eingerichtetes Hohleisen, das unten geschärft und gehärtet ist, auf einmal 12 und mehr solcher Doppelscheiben erhalten, deren Gröſse sich nach dem Hohleisen richtet. Beim unächten Goldpapier muſs man wohl auf die Sorte desselben sehn, indem nach Bohnenberger[1] das Goldpapier, auf welches sogenanntes *gemahlenes* Metall aufgetragen ist, 5- bis 6mal schwächer wirkt, als dasjenige, welches durch aufgelegte Blätter von *geschlagenem Metalle* bereitet ist. Diese Doppelscheiben werden dann in eine Glasröhre über einander geschichtet, so daſs die homologen Metallseiten alle nach einer Seite zugekehrt sind und folglich die entgegengesetzten Metallflächen mit einander in Berührung kommen. Man kann auch viereckige Platten sich auf solche Art ausschneiden. Auch ist es eben nicht nöthig, die Metallbogen an einander zu leimen, sondern man kann sie auch nur über einander schichten, so daſs in gleicher Aufeinanderfolge die Metallflächen mit einander in Berührung kommen.

Die Hauptsache bei allen diesen trockenen Säulen beruht einerseits auf der innigsten Berührung der Papierscheiben unter einander, andererseits auf der möglichst vollkommenen Isolirung der Pole. Beides erreicht man am vollkommensten, indem man an beiden Enden der Säule Messingplatten anbringt, welche an ihren 4 Seiten mit Oesen versehn sind, durch welche überfirniſste, hinlänglich starke, seidene Schnüre gezogen werden, die man so stramm wie möglich anspannt und zusammenbindet. Hat man nicht zur Absicht, jede Einwirkung der Luft so viel als möglich auszuschlieſsen, so thut man am besten, solche Säulen, um sie gegen Staub zu schützen, in

1 G. LIII. 365.

Digitized by Google

hohlen hölzernen, auſsen und innen überfirniſsten Säulen an seidenen Schnüren, welche sich an der hölzernen Platte, womit die Säule oben verschlossen ist, befinden, freischwebend aufzuhängen. Durch diese Platte wird in der Mitte ein hinlänglich groſses Loch gebohrt, durch welches ein mit einem Knopfe versehener Metallstift frei und ohne mit dem Holze in Berührung zu kommen hindurchgeht, der mit dem oberen Pole der Säule in inniger Berührung steht. Am untern Pole dagegen kann ein Metallstreifen angebracht werden, der aus einem Seiteneinschnitte im Fuſse der hölzernen Säule frei hervorragt und mit der Schluſsplatte genau verbunden ist. Es versteht sich, daſs die hölzerne Säule innen weit genug seyn muſs, daſs die Zamboni'sche Säule selbst nirgends mit ihr in Berührung kommt, und durch das Anstoſsen an den untern Metallstreifen kann man sich allezeit leicht von dem freien Schweben der Säule versichern. Auf diese Weise sind die beiden Pole der Säule so vollkommen wie möglich isolirt [1], man kann sie bequem mit Elektrometern, Condensatoren, Leidner Flaschen, auch die obern oder untern Pole zweier solcher in entgegengesetzter Ordnung aufgeschichteter Säulen nach Belieben mit einander in Verbindung setzen und so in *eine* noch einmal so groſse Säule verwandeln. Zwei solche Säulen, jede von 4000 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier von anderthalb Zoll Seite, habe ich mir vorzüglich zum Behuf meteorologischer Beobachtungen einrichten lassen, die ihrem Zwecke vollkommen entsprechen. Will man den Einfluſs der Luft so vollkommen wie möglich abhalten, so muſs man die Säulen in möglichst enge Glasröhren, die auſsen und innen mit geschmolzenem Siegellack (dem besten Isolator) gut überzogen sind, einschlieſsen, diese mit Korken verstopfen und durch Glasröhren, die gleichfalls innen gut mit geschmolzenem Siegellack überzogen sind, die Metalldrähte zu den Polen gehen lassen. Seitdem man das Zink sehr dünn auszuwalzen gelernt hat, hat man statt des unächten Silberpapiers auch Platten von solchem dünnen Zinkblech angewandt. Namentlich fand Schulz Montanus [2] solche Säulen aus dünnem Zinkblech und Goldpapier viel wirksamer als die

1 Vergl. Lüdicke in G. L. 92.
2 G. L. 87.

Digitized by Google

nach ZAMBONI's Art construirten Säulen, und zwei solcher Säulen von 500 viereckigen Plattenpaaren von $1\frac{1}{2}$ Zoll ins Gevierte waren im Stande, eine an einem seidenen Faden zwischen ihren oberen Polen hängende Nähnadel in ununterbrochene Bewegung zu versetzen.

Von durch die Zahl ihrer Platten und die davon abhängige Verstärkung ihrer Wirkungen ausgezeichneten Säulen, die in der ersten Zeit, als die trockenen Säulen ein so allgemeines Interesse einflöſsten, construirt wurden, führe ich hier an:

1) Die Säule, deren sich YELIN zu seinen Versuchen bediente, von dem Mechanicus der Münchner Akademie, RAMIS, verfertigt, jede von 5500 Platten unächten Silberpapiers, welches auf der Papierseite mittelst reinen Baumöls mit gutem fein gepulvertem Braunstein eingerieben und an der Sonne möglichst stark getrocknet war, die Platten selbst Kreisscheiben von 8 Par. Lin. Durchmesser, jede Säule 20 Par. Zoll lang, auſsen mit einem Harzüberzuge versehn und auſserdem noch in eine 1 Par. Zoll weite Röhre von weiſsem an der innern Wand mit einer Lage Siegellack überzogenem Glase eingeschlossen, sonst wie die oben beschriebene Zamboni'sche Säule eingerichtet[1].

2) Die groſse Säule, welche der Hofmechanicus EBERBACH zu Stuttgart[2] auf Befehl des Königs von Würtemberg und unter der Aufsicht des Leibmedicus JAEGER ausgeführt hat, bestehend aus 4 Säulen, die auf Glasfüſsen ruhten und jede über 3000 Scheiben enthielt, welche aus Gold- und Silberpapier zusammengeleimt waren und deren Oberfläche $3\frac{1}{4}$ Quadratzoll betrug. Durch leitende Drähte waren diese 4 Säulen zu *einer* Säule verbunden, in deren Mitte indeſs eine Ableitung nach dem Boden angebracht war, so daſs sie sich, so lange diese Ableitung angebracht war, als zwei jede an einem ihrer Pole ableitend berührte Säulen verhielten.

3) Die einfache Säule vom Mechanicus KLINGERT in Breslau[3] aus 8000 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier.

4) Endlich der gröſste Apparat dieser Art vom Herrn Kammersecretär BECHSTEIN in Altenburg[4] ausgeführt, bestehend

1 YELIN's Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 18.

2 G. LI. 87.

3 G. LIII. 337.

4 G. LVIII. 342.

aus zwei Säulen, jede von 10000 Scheiben Gold- und Silberpapier von 16 Quadratzollen Oberfläche.

C. Wirkungen der trockenen Säulen.

Die trockenen Säulen mit der groſsen Anzahl von Plattenpaaren zeichnen sich vor den gewöhnlichen nassen durch ihre starken elektroskopischen Wirkungen, durch die lange Dauer ihrer Wirksamkeit in fast ungeschwächtem Zustande und durch den gänzlichen Mangel oder die Geringfügigkeit ihrer chemischen und physiologischen Wirkungen aus.

1) Elektroskopische Wirkungen der trockenen Säulen.

In Rücksicht auf die elektroskopischen Wirkungen kommt die trockene Säule, was die Gesetze derselben betrifft, wie sie bereits[1] entwickelt worden sind, mit der nassen Säule vollkommen überein und nur der Umstand, daſs die Zahl der Plattenpaare der trockenen Säulen die der gewöhnlichen nassen so sehr übertrifft, ist die Ursache, daſs die elektroskopischen Wirkungen an jenen so viel auffallender zum Vorschein kommen und sich den starken Wirkungen der durch Reiben erregten Elektricität mehr nähern. Die vollkommen isolirten trockenen Säulen zeigen, gerade wie die nassen, an ihren beiden Enden entgegengesetzte Pole von gleicher Intensität, die ganz so, wie bei den nassen Säulen, mit der Zahl der Abwechselungen zunimmt und daher bei solchen Säulen aus einigen hundert Plattenpaaren schon sehr merklich auf das Goldblattelektrometer, bei Säulen von einigen 1000 Scheibenpaaren auf das Strohhalmelektrometer sehr merklich einwirkt. Gerade so wie bei den nassen Säulen nimmt die Spannung von beiden Enden der vollkommen isolirten trockenen Säule nach der Mitte zu in einfacher arithmetischer Progression ab, wo sich ein Indifferenzpunct, ein el. 0 befindet. Wird der eine Pol ableitend berührt, so steigt die Spannung an dem andern Pole auf das Doppelte, welches zugleich das Maximum ist, welches die Säule für sich allein erreichen kann. Die Pole liegen auch ganz nach demselben Gesetze, nach welchem sie bei der nassen Säule gelagert sind, der positive Pol an demjenigen Ende,

---

1 S. Art. *Galvanismus.* Bd. IV. S. 827.

Digitized by Google

nach welchem von den zwei sich berührenden hierbei wirksamen Elektromotoren (unächtes Silberpapier und Braunstein, unächtes Silberpapier und unächtes Goldpapier, Zinkblättchen und unächtes Goldpapier) der relativ-positive Elektromotor (die metallische Schicht des Silberpapiers oder das Zinkblättchen), der negative Pol an demjenigen Ende, nach welchem der relativ-negative Elektromotor (Braunstein, metallische Schicht des Goldpapiers) gerichtet ist. Hierin stimmen alle Beobachtungen von Behrens und de Lüc an überein. Durch bedeutende Vermehrung der Anzahl der Scheibenpaare kann die elektrische Spannung so sehr verstärkt werden, daſs die Anziehungs- und Abstoſsungserscheinungen der Pole schon auf bedeutende Entfernungen merklich werden, indem nicht bloſs Goldblättchen, Nähnadeln, sondern auch sehr beweglich aufgehängte Metallkugeln, Pendel aus einer bedeutenden Entfernung angezogen werden und bei Tag sichtbare Funken überschlagen. Ein Goldblättchen, das an einem Drahte hing, der mit dem einen isolirten Pole der einen Säule von 10000 Scheibenpaaren verbunden war, wurde in einer Entfernung einer halben Elle von dem andern Pole angezogen und ein Pendel von 20 Zoll Länge, 7½ Loth schwer, 60mal in einer Minute zum Anschlagen an die Glocken gebracht, welche einen Zoll auf jeder Seite von demselben entfernt waren, wobei jedesmal im Dunkeln ein Funke von der Gröſse eines Stecknadelkopfes bemerkt wurde (Bechstein's Apparat). Die beiden Säulen von Ramis zusammen von 11000 Scheibenpaaren, eben verfertigt und in ihrer Wirkung durch trockenes Wetter begünstigt, gaben selbst im Sonnenschein sichtbare Funken, welche mit hörbarem Laute auf 3 Pariser Linien weit übersprangen und im Finger scharf empfunden wurden[1]. Eine an einem 3 Fuſs langen Faden aufgehangene 3 Linien groſse Kugel machte Tag und Nacht hindurch ununterbrochen Schwingungen bei einem volle 12 Zoll betragenden Abstande der Säulenknöpfe. In Eberbach's Säule schwang das über 12 Zoll lange und beträchtlich schwere Pendel in Bogen von 6 bis 10 Zollen zwischen zwei Glocken hin und her und bezeichnete jede Schwingung durch einen Glockenschlag und durch einen in der Dunkelheit sehr auffallenden Funken. Gerade so

1 Yelin's Abhandl. S. 19.

wie durch nasse Säulen können auch durch trockene Säulen Kleistische Flaschen und ganze Batterieen bis zur Spannung der Säule selbst, sowie auch Condensatoren geladen und dadurch die elektrischen Wirkungen selbst noch auffallend verstärkt werden. Zamboni vermochte durch tausend Scheiben, die nach seiner zuletzt angegebenen Methode zugerichtet waren, in sehr kurzer Zeit Flaschen von 4 bis 5 Quadratfuſs Belegung so stark zu laden, daſs man beim Entladen einen deutlichen Funken sah und den Schlag in den Armen und in der Brust fühlte[1]. Eine in Paris verfertigte Säule von 2000 Paaren Zink und Braunstein einige Secunden lang mit einem Volta'schen Condensator in Verbindung gesetzt lud den Condensator so stark, daſs er mehr als einen Zoll (?) lange Funken gab, welche bei wiederholter Verbindung mit dem Condensator stets wieder zu erhalten waren[2].

In Rücksicht auf die Zeit aber, in welcher Zamboni'sche Säulen Leidner Flaschen und Condensatoren bis zu ihrer Spannung laden und ihre eigene Spannung, wenn die vorher vollkommen geschlossene Säule wieder zu einer vollkommen offenen wird, sich wiederherstellt, findet ein sehr bemerklicher Unterschied zwischen den nassen und den trockenen Säulen statt, der um so gröſser ist, je mehr sich letztere dem Ideale einer trockenen Säule nähern. Schon Ritter bemerkte[1], daſs, wenn bei gewöhnlichen nassen Säulen, selbst wenn sie schon 6 Tage gestanden hatten, eine augenblickliche Berührung hinreicht, um sie auf das Maximum von Spannung zu laden, bei seinen trockenen Säulen aus Scheiben von Schafleder während der ersten Zeit derselben gegen 10, 15 und 20 Min. nöthig waren und, wenn die erst heiſs angewandten Metallplatten sich allmälig abgekühlt hatten, die Säule am Elektrometer geprüft nur noch ihre halbe vorige Spannung erreichte und zur Ladung derselben Batterieen sogar 6 Stunden erforderlich waren. Diesen Punct der langsamen Wiederherstellung der Spannung, sofern sie durch das Elektrometer gemessen wird, und der langsamen Ladung des Condensators hat besonders Bohnenberger durch mehrere Versuche in ein

1 G. LI. 181.
2 G. XLIX. 184.
3 Phys. chem. Abh. II. 247.

helles Licht gesetzt. Es hängt nämlich die Schnelligkeit der Ladung von Flaschen u. s. w. und der Wiederherstellung der Spannung vorzüglich mit von der Gröſse der Oberfläche der Scheiben ab. Es wurden Säulen aus 2000 Doppelscheiben Gold- und Silberpapier zuerst zwei von 3,2 Linien Durchmesser, dann aber eine aus viereckigen, die 3 Quadratzoll Oberfläche hatten, mit ihrem positiven Pole mit der 39 Quadratzoll groſsen inneren Belegung einer Kleistischen Flasche leitend verbunden, während die äuſsere Belegung und der negative Pol beide ableitend berührt wurden. Das Elektrometer erhielt von den beiden erstern Säulen erst nach 170 Minuten die gröſste Spannung von 21° eines Strohhalmelektrometers, von der 3ten Säule schon nach 17 Minuten die höchste Spannung von 20°,5. Bohnenberger zieht aus seinen Versuchen, womit auch die meinigen übereinstimmen, folgende Resultate:

a) Säulen aus einer gegebenen Anzahl gegebener Elektromotoren zeigen einerlei Spannung, wie auch die Zwischenkörper beschaffen seyn mögen, wenn diese nur dünne Schichten bilden und nicht selbst in die Classe der Elektromotoren gehören, sofern diese Spannung durch dasselbe Elektrometer gemessen wird.

b) Bei verschiedener Anzahl von Elektromotoren bei übrigens gleichen Voraussetzungen sind die Spannungen der Anzahl der Elektromotoren proportional.

c) Die Geschwindigkeiten, womit sich Säulen, die bloſs in der Gröſse der Oberfläche der Platten von einander verschieden sind, laden und einem gegebenen Condensator oder einer gegebenen Kleistischen Flasche eine gewisse Spannung mittheilen, sind den Flächen dieser Platten proportional und es stehn mithin die dazu erforderlichen Zeiten im umgekehrten Verhältnisse dieser Flächen.

Säulen, welche, wie die nach der ersten Vorschrift Zamboni's erbauten, einen so gut leitenden Zwischenkörper, wie Honig, enthalten, weichen schon weniger in Rücksicht auf die Schnelligkeit ihrer eigenen Wiederherstellung und der Ladung der Condensatoren und Flaschen von den gewöhnlichen nassen ab, und so ist es nicht zu verwundern, daſs die Säule von Ramis nach einer Pause von einer halben Minute nach einer vollständigen Berührung wieder ihre volle Spannung hatte, jene starke Funken gab und in 30 Secunden eine groſse

Flasche zur vollen Spannung lud. Jemehr die Säulen sich der absoluten Trockenheit nähern, um so weniger sind sie im Stande, Condensatoren von gewöhnlicher Art bis zur vollen Spannung zu laden und diese bei der Aufhebung der Collectorplatte um die volle condensirende Kraft verstärkt zu zeigen, weil die Firniſsschicht, welche die Metallplatten des Condensators von einander trennt, nicht als undurchdringlich auch für Elektricitäten von schwacher Spannung angesehn werden kann und daher bei dem langsamen Zuströmen der Elektricität sich stets wieder ein Theil derselben durch die Firniſsschicht hindurch in den Erdboden verliert, ein Verhältniſs, auf welches wir weiter unten noch einmal zurückkommen werden[1].

2) Chemische und physiologische Wirkungen der trockenen Säulen.

Was nur für den ersten Anschein auffallen muſste, war der Umstand, daſs die trockenen Säulen, welche die gewöhnlichen nassen durch Zeichen freier El. so auſserordentlich übertrafen, keine Spur von chemischer Wirkung zeigten. Diese auffallende Verschiedenheit, welche de Lüc zuerst an der trockenen Säule wahrnahm, miſsleitete ihn zu einer ganz abenteuerlichen Ansicht über die eigentliche Ursache der chemischen Wirkungen der nassen Säulen. Im Allgemeinen zeigten auch trockene Säulen von einer sehr groſsen Anzahl von Scheibenpaaren keine Spur von chemischen Wirkungen. So gaben die Säulen von Ramis einzeln so wenig als vereint die allermindeste Spur von chemischer Wirkung, selbst nicht einmal als Yelin Platindrähte von $\frac{1}{20}$ par. Linie Durchmesser nach van Marum's Verfahren in spitzig zugezogene Thermometerröhren einschmolz und nur das Spitzchen hervorstehn lieſs. Auch Bechstein wollte es nicht gelingen[2], mit seiner Riesensäule auch nur eine Spur von Wasserzersetzung hervorzubringen. Dagegen zeigen andere Versuche, daſs auch diese trockenen Säulen chemische Wirkungen hervorbringen können, sobald die übrigen Umstände einem wirksamern elek-

---

1 Vgl. hierüber besonders die scharfsinnigen Bemerkungen Jäger's in G. LII. 81.

2 G. LVIII. 314.

trischen Strome günstig sind. Der wichtigste Umstand hierbei ist die Gröſse der Oberfläche der Scheiben. Hierüber sind Bohnenberger's[1] Versuche besonders entscheidend. Nicht die Vermehrung der Zahl der Scheiben, wenn diese nur einen sehr kleinen Durchmesser haben, setzt die trockene Säule in den Stand, chemische Wirkungen hervorzubringen, aber wohl die Vergröſserung der Oberfläche der Scheiben selbst bei einer kleinen Anzahl derselben. Eine Säule, welche aus 96 viereckigen, gut getrockneten Doppelplatten von Silber- und Goldpapier von 36 Quadratzoll Oberfläche bestand, wurde mittelst in Glasröhren eingeschlossener Platindrähte mit einem zur Wasserzersetzung eingerichteten Apparate an ihren beiden Polen in Verbindung gesetzt. Es zeigte sich sogleich Gasentwickelung an den Spitzen der Platindrähte, aber nicht wie bei den nassen Säulen ununterbrochen, sondern so, daſs man die aufsteigenden Bläschen noch zählen konnte, und diese Gasentwickelung fand noch nach 8 Tagen statt, als Bohnenberger diese Säule auseinander nahm, *welche keine Spur von Oxydation zeigte.* Als der Versuch mit einer solchen Säule von 1800 Doppelplatten wiederholt wurde, ging diese Gasentwickelung in einer Stärke vor sich, wie bei einer nassen Säule von 60 bis 100 zweizolligen Platten. Eine solche Säule lud aber auch durch eine schnell vorübergehende Berührung eine Kleistische Flasche von 39 Quadratzoll innerer Belegung bis zu der Spannung, welche ihr eine solche nasse Säule mitzutheilen vermag. Wurden die vier Säulen von Ebersbach[2] zu einer einzigen verbunden, so konnten zwischen ihren Endpolen deutliche chemische Wirkungen hervorgebracht werden. Merkwürdig ist es, daſs die trockenen Säulen, wenn sie auch auf nassem Wege keine chemische Wirkungen hervorbringen, doch dieselben auf trockenem Wege zeigen. Müller[3] bemerkt nämlich in seinem Berichte von der groſsen trockenen Säule Klingert's in Breslau, daſs an den messingenen Kugeln an den Stellen, wo das Pendel anschlug, oxydirte Flecken sowohl an der positiven als auch an der negativen Kugel, die keinen merkbaren Unterschied zeigten, entstanden. Dieses setzt eine groſse Hitze,

1 G. LIII. 352.
2 G. LI. 184.
3 G. LIII. 301.

Digitized by Google

welche an diesen Stellen durch den elektrischen Funken erzeugt wurde, voraus.

Daſs die trockenen Säulen auch keine merklichen physiologischen Erscheinungen, die nur durch einen lebhaften elektrischen Strom bewirkt werden, hervorbringen würden, war zum voraus zu erwarten. Indeſs bringen sie bei groſser Anzahl der Scheibenpaare doch jene physiologischen Wirkungen hervor, welche die gleichsam mehr einseitig oder, wie Schweigger[1] sich ausdrückt, unipolar wirkende Elektricität erzeugt. So haben wir schon oben bemerkt, daſs der Funke, den Yelin aus dem einen Pole einer am andern Pole mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Säule von 5500 Scheiben mit dem Finger zog, in diesem scharf empfunden wurde. Schweigger konnte auch auf diese Art in praeparirten Froschschenkeln Zuckungen erregen, und schon Ritter beobachtete dieses Vermögen an seinen mit Schafleder erbauten Säulen. Blitze vor den Augen, Erschütterungen in den Armen u. s. w. haben auch die gröſsten trockenen Säulen aus Metallpapierscheiben nicht bewirkt.

3) Dauer der Wirkungen der trockenen Zamboni'schen Säulen.

Die gröſsten Hoffnungen erweckten diese Säulen in der ersten Zeit ihrer Bekanntwerdung in Hinsicht der Unwandelbarkeit ihrer Wirkungen. Der ersten Nachricht zufolge[2] sollte Zamboni einen wie oben beschriebenen Apparat besitzen, durch welchen ein Pendel bereits seit zwei Jahren in gleichförmigen Schwingungen erhalten worden sey, ohne daſs sich in dieser Zeit die geringste Veränderung in ihrer Bewegung gezeigt habe. Bechstein's Säule hatte sich wenigstens innerhalb 4 Wochen, nach deren Verfluſs er seine Nachricht mittheilte, nicht im geringsten verändert. Unabhängig von den Variationen, welche indeſs die Wirksamkeit solcher Säulen durch äuſsere Umstände erleidet, ist es leider jetzt ausgemacht, daſs die Hoffnungen, durch dieselben ein *Perpetuum mobile* in Folge einer unwandelbar sich gleichförmig bleibenden Elektricitätsentwickelung und was sonst noch gewonnen

1 Dessen Journ. XVI. 138.
2 G. XLIX. 42.

zu haben, in das Reich der schönen Träume gehören. Schon de Lüc[1] hatte bei seinen trockenen Säulen die unangenehme Erfahrung gemacht, daſs sein Pendel schon nach etwa 8 Tagen, nachdem es zum erstenmal in Gang gekommen war, in Stillstand gerieth. Schübler's nach de Lüc's Muster erbaute Säule[2], nachdem sie die Wintermonate hindurch in gleichförmiger Thätigkeit geblieben war, zeigte schon gegen die Frühlingsmonate hin geringere Grade derselben, und in der Zeit, als die Vegetation erwachte und Felder und Bäume mit neuem Grün bedeckt wurden, war sie gänzlich zur Ruhe gekommen. Auch die so vollkommen wie möglich gegen die Einwirkung der Luft durch einen Ueberzug mit einem isolirenden Kitte und Einschlieſsung in Glasröhren verwahrten Säulen zeigten ein allmäliges Abnehmen ihrer Thätigkeit. So bemerkt Schübler[3], vom Professor Struve in Lausanne gehört zu haben, daſs seine aus Paris erhaltene Säule seit einigen Wochen stehen geblieben sey, nachdem sie einige Monate lang in Thätigkeit gewesen war, und dasselbe hörte Schübler auch vom Professor Pictet in Genf, der seine Säule aus Italien erhalten hatte.

Bei meiner eigenen vor 20 *Jahren* von Butzengeiger erhaltenen Doppelsäule von 6000 Scheibenpaaren im Ganzen muſste ich die mit den Enden der Säulen verbundenen Glocken einander immer mehr nähern, um das Pendel in Bewegung zu erhalten, das doch am Ende zur Ruhe kam; doch bringt noch jede derselben nach 20 Jahren unter günstigen äuſsern Verhältnissen am Goldblattelektrometer eine ebenso groſse Divergenz hervor, als eine frischgebaute nasse Kupfer-Zinksäule mit Pappen, die mit Kochsalzauflösung getränkt sind, von 500 Plattenpaaren.

4) Einfluſs verschiedener äuſserer Umstände auf die Wirksamkeit der trockenen Säulen.

Wir betrachten hier zunächst nur den Einfluſs der *Feuchtigkeit* und der *äuſsern Wärme* auf die Wirksamkeit der tro-

1 G. XLIX. 117.
2 Schweigger's Journ. VII. 801.
3 Ebendas. XV. 142.

ckenen Säulen. Für die Theorie derselben war unstreitig die Beweisführung, daſs die sogenannte trockene Säule keine absolut trockene sey, daſs ihre Wirksamkeit bloſs von dem kleinen Rückhalte an hygrometrischer Feuchtigkeit in den Papierscheiben abhänge, und daſs namentlich die Geschwindigkeit ihres elektrischen Stromes vorzüglich durch die Menge dieser Feuchtigkeit bestimmt werde, von groſsem Belange. Dafür sprechen eine Menge von Beobachtungen. Schon früh stellte Erman[1] mit Marechaux's trockener Säule in diesem Sinne viele Versuche an und gelangte zu dem Resultate, daſs diese trockene Säule, die nach ihrer damaligen Einrichtung der umgebenden Luft ausgesetzt war, als eine besondere Art von *Hygrometer* anzusehn sey, das sich durch elektrische Erscheinungen zu erkennen giebt, an Empfindlichkeit alle übrige Hygrometer übertreffe, bei welchem aber an eine Vergleichung nicht zu denken sey. Ihre ganze Wirksamkeit hing seinen Versuchen zufolge bloſs von der Feuchtigkeit der Pappen ab und sank auf 0, sobald alle Feuchtigkeit diesen entzogen war. Er brachte seine Säulen in Glocken, die nachher so luftdicht wie möglich verschlossen wurden und in welchen sich eine beträchtliche Menge von geglühtem Chlorcalcium befand, und, um dem Einwurfe zu begegnen, daſs etwa der Mangel an Lufterneuerung hierbei mit im Spiele seyn könne, in ein geräumiges Gewölbe, in welchem sich eine groſse Masse frisch gebrannten Kalkes befand. In kurzer Zeit sank die Spannung der Säule auch mit dem empfindlichsten Elektrometer geprüft auf 0 herab. Auch dem bloſsen Sonnenlichte von Morgens 8 Uhr bis Abends 6 Uhr ausgesetzt hatte eine solche Säule ihre el. Spannung fast gänzlich verloren. Auch Ritter beobachtete schon, daſs, wie er seine Scheiben von Schafleder einen Tag hindurch auf einem geheizten Ofen hatte liegen lassen, die Säule mit ihnen aufgebaut, ungeachtet sie äuſserlich keine Verschiedenheit zeigten, durchaus keine Spur von Wirkung gab. Ebenso wie das Schafleder verhielt sich das Wachstuch. Auch Schübler überzeugte sich, daſs es nur der verschiedene Grad von Feuchtigkeit sey, von welchem der verschiedene Grad von Wirksamkeit solcher Säulen abhänge. Wurden solche Säulen bei feuchter Witterung errichtet, in

1 G. XXV. 1. fg.

Digitized by Google

welcher ihre Scheiben eine Zeit lang gelegen hatten, so entwickelten sie anfangs stärkere Elektricität, als andere auf dieselbe Art errichtete, deren Scheiben zuvor stärker ausgetrocknet worden waren; die gröſsere Thätigkeit der ersteren blieb aber nicht lange gleichförmig, sie wurde nach und nach schwächer, welches bei den trockenen weniger der Fall war. Eine Säule von 1200 Scheiben, auf einem Porzellanofen stark ausgetrocknet, indem die Scheiben (nach de Luc's erster Methode wie ein Rosenkranz auf einen seidenen Faden aufgezogen) nur locker an einander gereiht waren, zeigte nicht eine Spur von Wirksamkeit; erst nachdem sie einige Zeit in einem schwach geheizten feuchten Zimmer sich befunden hatte, erhielt Schübler einige Spuren von Elektricität. In sein sehr feuchtes Laboratorium von 8° R. mit gleichfalls nur locker aufgereihten Scheiben gebracht nahm die Elektricität um noch viel stärker zu, nach 20 Stunden von 4° bis auf 16°, in das Wohnzimmer von 10° R. und von viel geringerer Feuchtigkeit zurückgebracht nahm die El. in 24 Stunden wieder bis auf 9° ab; zwei Stunden lang einwirkende Ofenwärme war im Stande, auch diese El. vollends zu zerstören. Durch neues Aussetzen in feuchte Luft wurde die El. wieder aufs neue rege. Doch kamen bei oftmaliger Wiederholung dieser Versuche die Säulen nicht auf ihre ursprüngliche Stärke zurück und die Metalle hatten dann auch etwas von ihrem Glanze verloren.

Als Schweigger seine Säule, auf deren Silberpapierscheiben das Braunsteinhyperoxyd durch Leimwasser aufgetragen worden war, durch erhitzte Luft in einer Ofenröhre trocknete, war sie abgekühlt ohne alle Wirksamkeit, stark erhitzt zeigte sie wieder starke Wirksamkeit, gab aber einen Dunst von sich, und sie muſste dann stärker erhitzt werden. Als Schweigger die auf diese Art ausgetrocknete und auf die gewöhnliche Temperatur zurückgebrachte ganz unthätige Säule äuſserlich mit einem nassen Pinsel bespritzte, nahm sie ihre ganze vorige Wirksamkeit wieder an [1].

Parrot in Dorpat stellte über den Einfluſs der Feuchtigkeit auf die Zamboni'sche Säule besonders genaue Versuche

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

an[1]. Er bediente sich dazu zweier Apparate, eines, in welchem er die Säule erst auf das Maximum von Feuchtigkeit brachte, und dann eines zweiten, in welchem er die Säule so viel als möglich wieder austrocknete. In den erstern gebracht war die Säule selbst, noch ehe die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, auf das Maximum ihrer Spannung gestiegen, nachher aber, da die Luft ihr Maximum von Feuchtigkeit erreicht hatte, wegen der ableitenden Wirkung der feuchteren Luft und da sich nun selbst äuſserlich Feuchtigkeit auf die Säule niederschlug, die sich naſs anfühlte, wieder gesunken. Als darauf die Säule in den Austrocknungsapparat gebracht wurde, so erreichte sie in einem Versuche, wo der schlecht gebrannte Kalk langsamer wirkte, ihr Maximum von Spannung erst in 24 Stunden, in einem andern Versuche schon in 3 Stunden, indem die erste Wirkung auf die Entfernung der äuſsern Feuchtigkeit, welche die Säule genäſst hatte, und auf bessere Isolirung der Pole hinging, dann aber bei eintretender innerer Austrocknung sank ihre Spannung allmälig, bis sie endlich 0 erreichte. Was auf diese Weise in längerer Zeit zum Vorschein kam, konnte vermittelst der Luftpumpe, indem man schnell Luft entzog und dadurch austrocknete oder mit zugelassener Luft wieder Feuchtigkeit hinzubrachte, in der kürzesten Zeit geschehn.

Die gröſste Mühe wandte indeſs Jaeger[2] um, um über den Einfluſs der Feuchtigkeit und über die angebliche Nothwendigkeit eines Rückstandes von hygroskopischer Feuchtigkeit zur Wirksamkeit der Säule Licht zu verbreiten. Er trocknete in einer Ofenröhre durch die durchströmende erhitzte Luft mit aller Sorgfalt die Metallpapiere aus und brachte die daraus errichteten Säulen noch überdieſs in einen Apparat, den er gegen allen Zutritt äuſserer Luft so vollkommen wie möglich verwahrte und dessen Luftraum durch eine groſse Menge geglühten salzsauren Kalks auf den höchsten Grad der Trockenheit gebracht worden war. Wurde die so vollkommen ausgetrocknete Säule, daſs sie sich gegen Reibungselektricität als vollkommen isolirend verhielt, auf die gewöhnliche Weise mit Hülfe eines Conductors am Elektrometer geprüft, nach-

1 G. LV. 165.
2 G. LXII. 227.

dem sie auf 20° Lufttemperatur gesunken war, so zeigte sie allerdings keine Spur von freier Spannung, wurden aber die Strohhälmchen an eines ihrer Enden selbst aufgehängt, so daſs also der Verlust von Elektricität, der durch das Glasgehäuse des Elektroskops sonst bedingt ist, vermieden wurde, ein Verlust, der allerdings fortwährend das aufwiegen konnte, was bei der so schlechten Leitung einer solchen Säule nur höchst langsam zugeführt wurde, so zeigten die Strohhälmchen freie Spannung, die indeſs nur halb so groſs war, als diejenige, welche die stark erhitzte Säule zu erkennen gab. Ein zweiter Umstand, der auf die Wirksamkeit der Zamboni'schen Säulen von groſsem Einfluſs ist und der allerdings etwas räthselhaft erscheint, ist derjenige der Temperatur. Es scheinen hierbei zwei Wirkungsarten in entgegengesetztem Sinne statt zu finden, eine schwächende, indem die Wärme mit ihrer Zunahme auf gröſsere Austrocknung der Säule hinwirkt, und eine andere die Wirksamkeit der Säule begünstigende, indem ihre Zunahme die elektrische Leitungsfähigkeit der Feuchtigkeit und vielleicht auch des Papiers an und für sich erhöht. Am wichtigsten sind in dieser Hinsicht Jaegers[1] Versuche. Wurde nämlich jener hermetisch verschlossene Apparat, in welchem sich die so vollkommen wie möglich ausgetrocknete Säule befand, die schon bei 20° R. keine Spur von freier Spannung, auf die gewöhnliche Weise geprüft, gezeigt hatte, in die geheizte Ofenröhre gebracht, und stieg das Thermometer, das in jenem Apparate mit angebracht war, auf 35° bis 40°, so setzte der Conductor das Bohnenberger'sche Elektrometer mit der dem oberen Pole der Säule entsprechenden Elektricität in Bewegung; dauerte die Erwärmung steigend länger fort, so machte der Conductor auch die Goldblättchen des Bennet'schen Elektrometers divergiren, und bei 40 bis 45° zeigte er schon an Volta's Strohhalmelektrometer mehr als die halbe Spannung, welche der Säule nach der Zahl ihrer Plattenpaare zukam. Stieg aber die Wärme auf 55 bis 60° am innern Thermometer und hielt sie so lange an, daſs man vermuthen konnte, die ganze innere Säule sey gleichförmig erhitzt, so erreichte die Elektricität nicht nur allmälig die der Gröſse der Säule entsprechende Spannung, sondern übertraf sie noch beständig um

1 A. a. O.

einen beträchtlichen aliquoten Theil, so daſs eine Säule von 1000 Scheiben, welche in ihrem nicht getrockneten Zustande nie mehr als 10° zeigte, bei diesem Hitzegrade vollständig 12° gab. Entlud Jaeger den Conductor der erhitzten Säule durch vorübergehende Berührung, so stellte sich die Elektricität wieder her, jedoch weit langsamer, als unter ähnlichen Umständen die El. einer nicht ausgetrockneten und nicht erhitzten Säule. Ebenso kann man mit dem Conductor einer erhitzten Säule einen gewöhnlichen mit Harz gefirniſsten Condensator laden, aber nur bei weitem langsamer, als mit einer nicht ausgetrockneten und nicht erhitzten Säule. Bei Erhitzung der Säule bis auf 70° und 80° schien die Geschwindigkeit der Wiederladung des Säulenpols, wenn er ableitend berührt wurde, noch beträchtlich zugenommen zu haben, aber die Intensität der Spannung hatte nicht weiter zugenommen. Schweigger's Versuche bestätigen im Allgemeinen die von Jaeger erhaltenen Resultate. Bohnenberger fand durch eine Reihe vergleichender Versuche, daſs die Geschwindigkeit der Ladung solcher Säulen, deren Elektromotoren durch Papier von einander getrennt sind, welches bloſs mit thierischem Leime bestrichen oder damit getränkt ist, durch das Austrocknen in der Wärme vermindert wird, auch so lange sie noch heiſs sind, aber durch die Abkühlung in feuchter Luft wieder hergestellt wird, während Säulen mit harzigen Zwischenkörpern sich um so geschwinder laden, je mehr sie erwärmt werden, wenigstens so lange die Wärme nicht über die Siedhitze steigt, und daſs sie diese Eigenschaft erhalten, wenn auch durch erhaltene Erhitzung die Feuchtigkeit soviel als möglich entfernt und durch einen harzigen Ueberzug der Hinzutritt neuer Feuchtigkeit verhindert wird. Dieses gilt namentlich bei Anwendung von Seidenpapier, das mit gekochtem Leinöl getränkt war. Bei einer Erwärmung von 60° bis 70° R. lud eine solche Säule von 60 Plattenpaaren von Zink und gewalztem Kupfer von 7 Linien Durchmesser den Condensator augenblicklich, bei einer Abkühlung auf 13° bis 14° fand die gleiche Ladung des Condensators erst nach mehrern Minuten statt. Ganz auf gleiche Weise verhielt sich eine Säule, bei welcher die Zwischenlage zwischen dem Zink und den Kupferplatten mit Bernsteinfirniſs bestrichener englischer Wachstaffent war.

Digitized by Google

5) Vermeintliche Periodicität in den Erscheinungen der trockenen Säule und Abhängigkeit derselben von atmosphärischen Einflüssen.

De Lüc glaubte in der trockenen Säule ein neues höchst schätzbares meteorologisches Instrument, ein Luft-Elektrometer, aufgefunden zu haben. Auſser einer gröſseren Periode, die mit der Periode der Veränderungen in der organischen Natur scheinbar zusammentraf, indem seine Säule, die den Winter hindurch durch das Goldblattelektrometer geprüft eine ziemlich gleichförmige Spannung gezeigt hatte, gegen das Frühjahr merklich abnahm und, als die volle Vegetation im Gange war, alle Thätigkeit verloren hatte, glaubte er noch eine tägliche kleinere Periode beobachtet zu haben, die ganz unabhängig von dem Gange der gewöhnlichen meteorologischen Instrumente, des Barometers, Hygrometers und Thermometers, zu seyn schien. Wenn nämlich das Anschlagen der Goldblättchen (indem die Elektrometer mit den entgegengesetzten Polen der vollkommen isolirten Säule in Verbindung standen) mehrere Tage beinahe gleichförmig fortging, pflegte es vom Morgen an bis zu einer gewissen Stunde Nachmittags zuzunehmen, dann aber bis an den Abend wieder abzunehmen. Auſserdem waren aber auch die Zeichen der Elektricität einige Tage hindurch stark und dann wieder schwach, und, was dabei merkwürdig war, zuweilen fand das Anschlagen einen oder zwei Tage über *nur an dem einen Pole*, wenn aber der Zustand der Atmosphäre sich änderte, *nur an dem andern Pole* statt. Diese ersten Beobachtungen veranlaſsten de Lüc, auf einen bequemern Apparat zu sinnen, und brachten ihn auf die Anwendung eines kleinen Pendels, dessen Schwingungen durch ihre Zahl in einer gegebenen Zeit ihm als Maſs der Stärke der Elektricität dienten. Indeſs stellte er, nachdem er seine stärkste Säule zu Stande gebracht hatte, nur 16 Tage hindurch vom 10. bis 26. Mai 1810 Beobachtungen damit an, die natürlich zu keinem eigentlichen Resultate führen konnten, und alles, was de Lüc über die Abhängigkeit der Zu- und Abnahme der Thätigkeit der Säule von der Elektricität der Atmosphäre und des Erdkörpers annimmt, blieb bloſse Muthmaſsung, die erst durch eine Reihe neuer eine hinlängliche

Zeit hindurch fortgesetzter Beobachtungen geprüft werden müſste. Diese stellte zunächst Schübler sowohl mit einer de Lüc'schen, als später mit einer Zamboni'schen an. Er begann seine Beobachtungen im Januar 1812, indem er mit einem Volta'schen Apparate[1] gleichzeitig vergleichende Beobachtungen über die Luftelektricität machte. Der negative Pol seiner Säule war mit dem Erdboden, der positive mit einem graduirten Volta'schen Strohhalmelektrometer verbunden. Mit Zunahme der Temperatur im Zimmer nahm die Elektricität der Säule zu, ohne im geringsten mit den Veränderungen der atmosphärischen Elektricität gleichen Schritt zu halten. Diese Beobachtungen wurden im Februar, März und April fortgesetzt; mit den ersten Tagen des Mai's, und als die Vegetation mit Gewalt hervorbrach, hatte die Säule alle ihre Wirksamkeit verloren. Das stärkste Gewitter war ohne allen Einfluſs auf die Säule gewesen. Die Resultate dieser ersten Beobachtungen bestätigten sich vollkommen, als Schübler mit einer Zamboni'schen Säule von 1600 Plattenpaaren Gold- und Silberpapier von einem Zoll Durchmesser auf einer Reise durch die südöstliche Schweiz auf verschiedenen Stationen ähnliche Beobachtungen anstellte. Unter den mannigfaltigsten Abwechselungen der atmosphärischen Elektricität waren die Aeuſserungen dieser Säule ganz gleichförmig, wenn der eine Pol mit dem Erdboden in Verbindung gesetzt wurde. Sie zeigte dieselbe Stärke auf dem Eismeere des Montblanc, wie einige hundert Schuhe tief unter der Erde bei Bex, bei dem heitersten ruhigsten Wetter an den Ufern des Genfersees, wie bei dem heftigsten Ungewitter auf den Alpen. Ward die Säule der atmosphärischen Elektricität ausgesetzt, so daſs diese sich ihr mittheilen konnte, indem ein Draht von dem einen Pole aus in die Luft sich erstreckte, so ward die Elektricität der Säule nach Art und Grad der atmosphärischen mannigfaltig modificirt, gerade so wie jede andere künstliche Elektricität die Spannung derselben geändert hatte. Bei einer trockenen Säule von 10000 Plattenpaaren, deren Stärke durch die Zahl der Pendelschwingungen gemessen wurde, zeigte sich die Thätigkeit der Säule mit Zunahme der Trockenheit der Luft verstärkt, mit ihrer Abnahme vermindert. Bloſse Erhöhung der Tem-

---

1 S. Art. *Luftelektricität.* Bd. VI. S. 465.

Digitized by Google

peratur der Säule selbst von 10° bis 60° R. hatte keinen Einfluſs auf ihre Thätigkeit. Auch Placidus Heinrich konnte in seinen vom September bis November 1815 angestellten Beobachtungen über die Zahl der Schwingungen des Pendels zwischen seinen zwei Zamboni'schen Säulen keinen Unterschied wahrnehmen, jedoch zeigte sich im Allgemeinen die Zunahme der Temperatur günstig, die Abnahme ungünstig, was Heinrich vorzüglich von dem veränderten Cohaesionszustande des Honigs in seiner Säule ableitet, der in der Kälte sich mehr dem starren Zustande nähere und dadurch an Leitungsfähigkeit verliere, während er in dem flüssigen durch die erhöhte Temperatur bedingten als ein besserer Leiter wirkte.

Yelin hat mit besonderer Sorgfalt eine Reihe von Beobachtungen über die Ebbe und Fluth in der Thätigkeit der Zamboni'schen Säule und ihre etwaige Abhängigkeit von meteorologischen Veränderungen angestellt. Er bediente sich dazu jener oben beschriebenen von Ramis verfertigten Säule und richtete sich noch überdieſs ein in horizontaler Ebene seine Schwingungen machendes Pendel ein, welches so construirt war, daſs sein Gang als sehr regelmäſsig betrachtet werden konnte. Seine stündlichen Beobachtungen leiteten ihn darauf, eine regelmäſsige Periodicität der Zamboni'schen Säulenaction anzunehmen, jedoch auf eine andere Weise, als sie von Ritter für die Volta'sche Säule angenommen worden war [1].

a) Im Allgemeinen wächst nach Yelin vom ersten Morgen an bis Mittag die Thätigkeit der Säule und erreicht bis gegen 2 oder 3 Uhr Nachmittags ihr Maximum. Von hier an nimmt sie wieder ab, bis sie gegen 9 oder 10 Uhr Abends in der Regel etwas höher stehn bleibt, als sie am Morgen anfing. Diese periodischen Aenderungen will Yelin eben sowohl in der isolirten Säule, wenn gleich minder deutlich als an der nur einseitig freien Säule beobachtet haben. Er glaubt in den Actionen der Zamboni'schen Säule einen Zusammenhang mit den täglichen Ebben und Fluthen der atmosphärischen El., des Barometerganges und der Veränderungen der Magnetnadel wieder gefunden zu haben, doch keine vollkommene Ue-

1 Vergl. Erman in G. XXV. 1. fg.

Digitized by Google

bereinstimmung, indem bei der Säule um 12 Uhr Mittags, 6 Uhr Abends und um Mitternacht Pulsationen bemerkt werden, wo jene Kräfte keine dergleichen anzeigen, und um 3 Uhr Nachmittags und Morgens, wo jene Kräfte ihren Tiefpunct haben. Auſserdem fand Yelin eine bestimmte Beziehung zwischen der Thätigkeit der Säule und dem hygrometrischen Zustande der Atmosphäre. Ihre Thätigkeit nahm nämlich ab einige Tage vor dem Eintreten eines eigentlichen Regenwetters, und stieg, wenn im umgekehrten Falle nach länger andauernder feuchter und Regen-Witterung heitere Tage eintraten. Diese Anzeigen giebt die Säule mit wenigen Ausnahmen häufig selbst dann, wenn der Stand des Barometers und Hygrometers noch keine bevorstehende Aenderung erkennen lieſsen[1].

So bestimmt nun Yelin sich über die Resultate seiner Beobachtungen ausspricht, so sind diese doch nicht lange genug fortgesetzt, um jene Resultate als solche begründet annehmen zu können, und es ist zu bedauern, daſs Yelin später nichts zur Bestätigung derselben bekannt gemacht hat.

Ich selbst habe im Laufe dieses durch seine groſse anhaltende Hitze und Trockenheit, sowie durch seinen hohen Barometerstand sehr ausgezeichneten Sommers (1834) einige Monate hindurch an meinen beiden gröſseren Zamboni'schen Säulen, die weder mit Kitt überzogen, noch in Glasröhren eingeschlossen sind, sondern, wie schon oben bemerkt, in hohlen hölzernen Säulen frei schwebend in seidenen Schnüren hängen, eine Reihe von Beobachtungen angestellt, daſs die Geschwindigkeit, mit welcher die Säule (indem nämlich beide dadurch zu einer einzigen vereinigt waren, daſs ihre oberen entgegengesetzten Pole durch einen Metallstreifen miteinander vereinigt, der untere Pol der einen mit dem Erdboden und der untere Pol der andern mit dem Knopfe des Elektrometers in Verbindung gesetzt wurde) dem Elektrometer ihre Ladung mittheilte, sowie auch die Gröſse der Spannung wesentlich vom hygrometrischen Zustande der Luft abhängt und daſs die Säule in dieser Hinsicht ein höchst empfindliches Hygrometer abgiebt. Stets fand ich nämlich mit Zunahme der Trockenheit der Luft die Intensität der Spannung sehr auffallend steigend, mit

1 Versuche und Beobachtungen u. s. w. S. 63.

Digitized by Google

Abnahme derselben fallend. So wie die Zunahme und Abnahme der Wärme und Trockenheit der Luft in den Monaten Julius und August eine gewisse Periode zu halten schienen, ebenso auch die durch das Volta'sche Strohhalmelektrometer angezeigte Spannung. Am 12., 13. und 14. Julius, wo bei ziemlich hohem Barometerstande die Wärme und auch die Trockenheit ihr erstes Maximum erreicht hatten, zeigte auch das Elektrometer eine sehr hohe Spannung. Doch daſs nicht zunächst die Wärme, sondern vielmehr die Trockenheit der Luft diese hohe Spannung bestimmten, bewies der 15. Julius, wo die Wärme keinen so hohen Grad erreichte, aber das Hygrometer gröſsere Trockenheit angab und auch die Divergenz den Strohhälmchen sich gröſser zeigte. Eine noch gröſsere Divergenz zeigten dieselben den 29., 30. und 31. Julius, wo am 30. um Mittag das Thermometer seinen höchsten Stand von + 26° R. in diesem ganzen Sommer erreicht hatte, und am 3. August, wo mit Nordost und doch hohem Thermometerstande von + 22° und mit einer auffallenden Trockenheit eine groſse Divergenz zusammentraf. Von da an aber nahm unter mancherlei Variationen die Spannung ab und im Ganzen zeigte sich immer die gleiche Correspondenz mit dem Feuchtigkeitszustande der Luft. Von einer täglichen Periode konnte ich bei der nicht hinlänglich groſsen Empfindlichkeit des Strohhalmelektrometers nichts bemerken.

Ganz anders verhielten sich meine in Glasröhren eingeschlossenen und gegen die Einwirkung der Luft so viel als möglich verwahrten kleineren Zamboni'schen Säulen. Nachdem sie bereits 20 Jahre ruhig gestanden, stellte ich wieder tägliche Beobachtungen an ihnen an. Wenn sie am günstigsten wirkten, brachten sie die Goldblättchen eines sehr empfindlichen Bennet'schen Elektrometers jede dritte Minute zum Anschlagen. Durch einen starken Messingdraht setzte ich den untern Pol jeder derselben mit dem feuchten Erdboden unmittelbar in Verbindung. Hier fand ich nun, daſs die Pole bei den Säulen, die aus einer gleichen Anzahl von Plattenpaaren bestanden, bald ganz gleiche Spannung zeigten, daſs aber bald der obere negative Pol der einen, bald der obere positive Pol der andern eine gröſsere Spannung offenbarte. Man möchte hieraus auf einen veränderlichen Zustand der Elektricität des Erdbodens einen Schluſs machen können. Meine

Digitized by Google

Beobachtungen sind indeſs noch nicht lange genug fortgesetzt, um diese Variationen unter ein Gesetz zu bringen.

D. Theorie der sogenannten trockenen Säule.

Berücksichtigen wir nur die bisher vorgetragenen Beobachtungen über die trockene Säule, so scheinen alle Erscheinungen derselben mit der Ansicht, welche wir von der Wirkungsart der Volta'schen Säule vorgetragen haben, in vollkommenem Einklange zu stehn und das von uns erörterte Volta'sche Erklärungsprincip die vollkommenste Bestätigung zu erhalten. In Rücksicht auf die elektroskopischen Erscheinungen stimmt die trockene Säule in jeder Hinsicht mit der Volta'schen überein und findet in dem Principe derselben ihre zureichende Erklärung. Auch hier sind es zwei Elektromotoren der ersten Classe oder trockene Erreger, von welchen die eigentliche Thätigkeit ausgeht, die metallische Seite des unächten Silberpapiers als elektropositiver, die metallische Seite des unächten Goldpapiers als elektronegativer Erreger, an dessen Stelle auch Graphit oder Braunstein substituirt werden kann. Die Gesetze, nach welchen die Spannung wächst, müssen auch nothwendig dieselben seyn. Daſs die Wirkung durch das Einreiben von schwefelsaurem Zink verstärkt wird, erklärt sich aus dem Umstande, daſs dieses Salz mit allen Metallen selbst elektronegativ wird und die Spannung, die es mit dem Kupfer giebt, sich zu derjenigen dieses letztern mit dem Zink noch hinzugesellt. Die zweite Hauptbedingung für die Construction einer wirksamen Volta'schen Säule, daſs nämlich zwischen den in gleicher Ordnung auf einander folgenden Elektromotoren ein Zwischenkörper sich befinde, der nicht zu einer Spannungsreihe mit ihnen gehöre und doch ein Leiter der Elektricität sey, fehlt auch nicht in den gewöhnlichen sogenannten trockenen Säulen. Dieser Zwischenkörper ist nämlich die *Papierschicht*, die vermöge ihrer hygrometrischen Eigenschaft immer noch Feuchtigkeit genug zurückhält, um in einigem Grade den Dienst eines Leiters zu verrichten, aber eben aus dem *sehr geringen Leitungsvermögen* dieses Zwischenleiters erklären sich alle Eigenthümlichkeiten und Verschiedenheiten der Zamboni'schen Säulen von den gewöhnlichen nassen Volta'schen Säulen. Sie hängen

Digitized by Google

nämlich einzig und allein von der auſserordentlichen Retardation des elektrischen Stromes theils wegen des geringen Leitungsvermögens der lufttrockenen Papierschichten, theils wegen der groſsen Anzahl der übereinander geschichteten Plattenpaare ab. Alle Erfahrungen über die *chemischen Wirkungen* der Elektricität beweisen, daſs dieselbe nur in dem Verhältnisse, in welchem sie mit einer gewissen Geschwindigkeit strömt oder fortdauernd eine groſse Quantität derselben durch den zu zersetzenden Körper sich hindurch bewegt, ihre zersetzende Kraft ausübt. Nicht die Intensität, sondern die Quantität ist es, die hierbei in Betracht kommt. Elektricität von groſser Spannung wirkt gleichsam mehr als Masse und durchbricht die Flüssigkeit, während die Elektricität von geringer Spannung zwischen die kleinsten Theilchen eindringt. Eine Zamboni'sche Säule, die nach Maſsgabe der Anzahl ihrer Plattenpaare eine hundert-, ja tausendmal stärkere Spannung hat, als eine gewöhnliche Volta'sche Säule mit Zwischenleitern aus der Classe der besten nassen Leiter, liefert in gleicher Zeit doch ohne Vergleich weniger Elektricität, als letztere. Dieses beweist die schon sehr merkliche Zeit, welche eine solche Säule zur Ladung der Condensatoren und el. Batterieen gebraucht, welche von einer solchen Volta'schen Säule in einem Augenblicke geladen werden. Aber eben darum findet keine absolute Grenzlinie zwischen den nassen und trockenen Säulen statt, da letztere bei ihrer gewöhnlichen Construction auf keinen Fall als absolut trockene betrachtet werden können, und wirklich bringen auch, wie wir oben gesehn haben, die Zamboni'schen Säulen schon deutliche chemische und physiologische Wirkungen hervor, laden Condensatoren und Flaschen schneller, sobald man ihr Leitungsvermögen und damit ihren elektrischen Strom verstärkt durch Anwendung von Scheiben von einer gröſseren Oberfläche, durch gröſsere Feuchtigkeit der Papierschichten, durch eine geringere Dicke derselben, wie denn Jaeger[1] fand, daſs eine Säule, welche aus Metallpapier errichtet war, das auf der einen Seite unächt versilbert, auf der anderen unächt vergoldet war, den Condensator viel schneller lud, als eine Säule aus gleich vielen Scheiben von unächtem Silberpapier und abgesonderten Scheiben von unächtem Goldpapier, die mit ihren

1 G. LXII. 233.

Papierſeiten an einander geleimt waren, wo die beiden Papierſchichten einen doppelt ſo groſsen Widerſtand entgegenſetzten, als die einfache Papierſchicht im erſten Falle, endlich durch feſtes Zuſammenpreſſen[1], wodurch die Menge der Berührungspuncte, die zur Leitung dienten, vermehrt wurde.

Eben darum aber, weil wir die Zamboni'ſchen Säulen nur als dem Grade nach verſchieden von den gewöhnlichen naſſen betrachten, können dieſe Säulen nicht dazu benutzt werden, um den theoretiſchen Streit, ob ein chemiſcher Proceſs oder die bloſse Wirkung der Elektromotoren auf einander die Quelle der Elektricität, welche die Volta'ſche Säule entwickelt, ſey, zu ſchlichten. Aber ebenſowenig können wir mit Parrot in den Erſcheinungen der trockenen Säule einen Beweis für die Oxydationstheorie finden. Dieſen Beweis findet er nämlich gerade in der verhältniſsmäſsig ſo geringen Menge von Elektricität, welche eine Zamboni'ſche Säule verglichen mit einer naſſen, deren Pappſcheiben z. B. mit einer Salmiakauflöſung getränkt ſind, liefert. Wenn man die Zeit, welche beide gebrauchen, nun eine gegebene Kleiſtiſche Flaſche bis zu einer gewiſſen Spannung zu laden, als Maſsſtab für die Menge der Elektr., welche jede derſelben liefert, gebraucht, ſo ergiebt ſich, daſs eine ſolche naſſe Volta'ſche Säule in gleicher Zeit 1630mal ſoviel Elektr. entwickelt, bei gleicher Anzahl der Paare und gleicher Oberfläche. Dieſe ſo ungemein viel geringere Menge von Elektr. der trockenen Säule ſteht ganz im Verhältniſſe mit der viel geringeren Menge Sauerſtoff, die der Zinkplatte durch die wenige Feuchtigkeit zugeführt wird. Da nämlich das Zink nicht fähig iſt, in der gewöhnlichen Temperatur das Waſſer zu zerſetzen und ſich ſo zu oxydiren, ſo iſt allein der atmoſphäriſche Sauerſtoff dazu erforderlich. Bei der äuſserſt langſamen Oxydation in der trockenen Säule berechnet Parrot, daſs ein Kubikzoll Sauerſtoffgas, an eine Zamboni'ſche Säule von 140 Plattenpaaren verwandt, auf 2000 bis 3000 Tage hinreichen würde, um am Ende dieſer Zeit noch einige am Elektrometer erkennbare Elektr. zu liefern. Wenn alle Feuchtigkeit, welche dieſen Sauerſtoff zuleitet, durch vollkommene Austrocknung der Scheiben entzogen ſey, ſo höre eben darum auch alle Wirkung

1 Schweigger's Journ. XV. 132.

der Zamboni'schen Säule auf. So lange indeſs die Volta'sche Theorie zur Erklärung aller dieser Erscheinungen noch ausreicht, können sie nicht als ein Beweis für die Richtigkeit der Oxydationstheorie angesehn werden.

Dabei ergiebt sich aber noch ein positiver Einwurf, der von dem Mangel einer wirklich statt findenden Oxydation selbst in den gewöhnlichen Zamboni'schen Säulen hergenommen werden könnte. Es ist von mehreren Physikern angemerkt worden, daſs sie, wenn sie ihre Säulen einige Wochen, ja Monate, nachdem sie aufgebaut waren, aus einander nahmen, die Metallflächen doch noch vollkommen blank vorfanden. So bemerkt namentlich Schübler, daſs, als er seine de Lüc'sche Säule aus einigen hundert Platten Zink und Goldpapierscheiben, die 5 Monate hindurch, vom Januar bis Mai 1813, ihm zu seinen Beobachtungen gedient hatte, auseinander nahm, nur die Scheiben von Goldpapier, die übrigens sonst blank waren, einige Puncte wie von Verkalkung zeigten, dagegen das Zink durchaus nicht angegriffen erschien. Auch Bohnenberger konnte an allen den trockenen Säulen, mit denen er seine Versuche anstellte, keine Spur von Oxydation wahrnehmen, und sie ist bei den Säulen, wo er *gefirniſstes*, mit gekochtem Leinöl getränktes Papier oder Wachstaffent anwendete, vollends nicht anzunehmen, weil man bekanntlich polirte Metalle durch einen Ueberzug von Firniſs gegen das Anlaufen sichern kann[1]. Auch ist es kaum begreiflich, wie bei meinen in sehr enge und hermetisch verschlossene Glasröhren, die so gut wie ganz durch sie ausgefüllt sind, eingeschlossenen Säulen nach vollen zwanzig Jahren noch so viel Sauerstoffgas übrig seyn sollte, um durch Oxydation so viele Elektricität zu entwickeln, als sie bis zur Stunde noch zeigen, da die mit ihren Polen in Verbindung gesetzten Goldblättchen eines Bennet'schen Elektrometers 8- und mehrmal in der Minute an die Stanniolableitungen des Glasgefäſses anschlagen. Parrot hat eine seiner Theorie im Wege stehende Schwierigkeit nicht übersehn. „Bei der so geringen Menge von Elektricität, welche die Zamboni'sche Säule aus der Luft zieht, werde man es vielleicht (äuſsert er sich[2]) unbegreiflich

---

1 G. LIII. 362.
2 A. a. O. S. 231.

finden, daſs sie am Elektrometer eine so hohe Spannung zeige, da 140 Paare so viel vermögen, als 100 Paare einer Volta'schen Säule (streng genommen als 140 Paare, wenn die Elektromotoren beider Säulen einander gleich sind). Das Unbegreifliche verschwinde aber, wenn man bedenke, daſs die Zamboni'schen Säulen wegen der Biegsamkeit ihrer Blättchen eine Zusammensetzung weit vollkommenerer Condensatoren sey, als die Volta'sche Säule. Daher leisten auch die Volta'schen Säulen mit sehr groſsen Platten viel weniger elektrometrische Wirkung, als die kleineren bei gleicher Anzahl, weil die gröſseren Platten sich viel weniger eben bearbeiten lassen als die kleineren und bei dem Gebrauche verbiegen. Weil die dickeren Platten der gewöhnlichen Volta'schen Säule nicht eben seyen, so lassen sie dickere und ungleich dickere Luftschichten zwischen sich, wirken also als unvollkommenere Condensatoren, und daher die relativ schwächere elektroskopische Wirkung, als man nach der so viel gröſseren Menge von El., welche sie entwickele, erwarten sollte." Parrot meint endlich, daſs eine mit Salmiakwasser aufgeführte Zamboni'sche Säule eine ganz ungeheure elektrometrische Wirkung äuſsern würde, wenn nicht die Metallfolie ganz zerrissen würde, ehe die Säule noch erbaut wäre. Daſs diese Behauptungen mit den bewährtesten Erfahrungen in directem Widerspruch stehn, brauchen wir kaum zu erinnern. Alle Versuche stimmen darin überein, daſs die Gröſse der Platten durchaus keinen Einfluſs auf die elektroskopische Wirkung hat, die vielmehr einzig und allein von der Anzahl der Plattenpaare und der Qualität der Elektromotoren, aus welchen jedes einzelne Plattenpaar zusammengesetzt ist, abhängt. Auch läſst sich aus einer Wirkungsart nach dem Gesetze des Condensators auf keine Weise eine Erhöhung der elektroskopischen Wirkung begreifen, da solche eher auf Schwächung derselben hinwirken würde. Wir verweisen übrigens in dieser Hinsicht auf unsere Kritik der Erklärung der Vervielfachung der elektroskopischen Wirkung durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten in unserm Artikel über den *Galvanismus* S. 977 bis 987.

Die Uebereinstimmung der Erscheinungen der trockenen Säule mit dem Principe der Volta'schen Theorie beruht wesentlich auf der Voraussetzung, daſs die Zwischenleiter in derselben (die Papierschichten) wenigstens in einigen

Grade Leiter der Elektricität sind. Diese Erklärungsart und damit die Volta'sche Theorie überhaupt würde aber gänzlich über den Haufen geworfen, wenn man den Beweis führen könnte, daſs es auch vollkommen trockene wirksame el. Säulen gebe, Säulen, deren Zwischenleiter *vollkommene Isolatoren* seyen. Diesen Beweis hat Jaeger zu führen und dadurch ein ganz abweichendes Erklärungsprincip der Vervielfachung der Spannung zu begründen gesucht. Gleich bei der ersten Nachricht von der Zamboni'schen Säule stellte Jaeger solche Versuche an, welche ihm diesen Beweis unwiderleglich zu liefern schienen[1]. Er lieſs zwölf Zinkscheiben mit einer ihrer Seitenflächen an ebenso vielen Kupferscheiben eben abschleifen, die gleichförmigen Flächen poliren und die zwei zusammengeschliffenen Zink- und Kupferscheiben mit einerlei Zeichen bezeichnen. Darauf überzog er die polirten Flächen der Zink- und Kupferscheibe No. 1. mit einer dünnen Lage Lackfirniſs (einer gesättigten Auflösung von Schellack in Alkohol[2]), klebte beide, ehe der Firniſs noch ganz trocken war, mit den gefirniſsten Flächen auf einander und lieſs sie dann auf dem geheizten Ofen völlig trocknen. Ebenso verfuhr er mit den übrigen 11 Plattenpaaren. Somit hatte er also 12 Condensatoren, jeden aus einer Zink- und Kupferscheibe bestehend, welche durch eine beide zusammenklebende Harzschicht getrennt waren. Er prüfte jedes dieser Paare noch besonders auf seine condensatorische Wirkung, indem es nicht so leicht war, zu verhindern, daſs die Platten an ihrer Harzfläche nirgends in metallische Berührung mit einander kamen, und sie dennoch so genau an einander zu bringen, daſs sie als wirkliche Condensatoren wirkten, und überzeugte sich von ihrer vollkommenen Beschaffenheit in dieser Hinsicht. Dann legte er die freie Kupferfläche des Condensators No. 1. auf eine mit dem Boden leitend verbundene Unterlage von Zink, dann auf die freie Zinkseite dieses Condensators No. 1. die freie Kupferseite des Condensators No. 2. und so fort, bis eine Säule von den 12 Condensatoren über einander geschichtet war. Wurde nun das Zink des Paars No. 12. mit dem kupfernen

1 G. XLIX. 47.

2 G. L. 214., wo sich diese Berichtigun der frühern Angabe, daſs es Copalfirniſs sey, findet.

Collector eines guten Condensators, der auf seiner ableitend berührten Unterlage ruhte, durch einen isolirten Leiter verbunden, so zeigte nach wieder getrennter Verbindung der aufgehobene Collector jedesmal — E, und zwar von einer 13mal so groſsen Spannung, als ein einzelnes ableitend berührtes Stück Zink an demselben Condensator hervorbrachte, denn mit Einschluſs der Unterlage aus Zink und der Collectorplatte aus Kupfer bestand jetzt die Säule aus 13 Plattenpaaren. Verminderte Jaeger die Anzahl seiner kleinen Condensatoren, so zeigte der Collector in eben dem Maſse vermindertes — E, in welchem weniger Zink- und Kupferplatten mit einander in metallischer Berührung standen. Wurde die Säule umgekehrt und unter das Zink No. 12. eine kupferne Unterlage gebracht und mit dem Boden leitend verbunden, so theilte die Kupferscheibe No. 1. einem Condensator von Zink + E von eben der 13fachen Spannung mit, kurz die Säule zeigte unerschöpflich alle elektrische Aeuſserungen einer mit nassen Leitern aufgebauten Volta'schen Zinkkupfersäule, mit dem einzigen Unterschiede, daſs die Ladung des Condensators eine beträchtlich längere Zeit zu erfordern schien als bei der letzteren. Diese Säule wurde dann auseinander genommen, die Platten sorgfältig von ihrer Harzschicht befreit und bloſs die Spiegelflächen der Kupferplatten mit einer dünnen Lage Copalfirniſs überstrichen, über diese eine Schicht von dünnem Taffent glatt und straff gezogen und stark getrocknet. Indem auf den Taffent die zu der Kupferplatte gehörige Zinkscheibe mit ihrer Spiegelfläche aufgelegt wurde, erhielt Jaeger wieder eine Säule nach dem vorigen Schema, welche alle Eigenschaften der vorigen Säule zeigte. Ebendieses gelang, als er bloſs die Spiegelflächen der Zinkscheiben firniſste, auf jede eine Scheibe von unächtem Goldpapiere, mit der Papierseite auf den Firniſs gelegt, aufklebte und die so erhaltenen Paare so übereinander schichtete, daſs die Metallseite des Papiers mit der freien Fläche des darauf gelegten zweiten Paars u. s. f. in Berührung kam. Endlich lieſs Jaeger von dünnem, grünlichem Fensterglase Quadrate von etwa 1,5 Zoll Seite schneiden. Die eine Seite jedes dieser Quadrate wurde mittelst dünnen Leimwassers mit unächtem metallischem Schaumgold, die andere mit unächtem Schaumsilber überzogen und dann 24 solche Quadrate nach dem obigen Schema (darin statt Harz Glas gesetzt)

Digitized by Google

auf einander geschichtet. Sie zeigten an dem Condensator die 24- oder 25fache Spannung, welche unächtes Gold und Silber in ihrer einfachen Berührung mittelst desselben Condensators bewirken.

An diese Versuche reihen sich die später von JAEGER[1] über die vollkommene Austrocknung gewöhnlicher Zamboni'scher Säulen durch künstliche Wärme und salzsauren Kalk angestellten an, von welchen schon oben die Rede gewesen ist. Wir haben gesehn, daſs eine solche Säule von höherer Temperatur sehr auffallende elektrische Wirkungen zeigt. Um dieses nach dem Volta'schen Principe der Durchleitung zu erklären, müſste man annehmen (äuſsert sich JAEGER[2]), ein Minimum von Wasser besitze bei einer Temperatur von weniger als etwa 30° R. dieses Durchleitungsvermögen nicht, erhalte es aber, wenn es bis auf 50° R. und mehr erhitzt werde, und behalte es selbst, wenn seine Masse durch Verdunstung bei diesem Temperaturgrade noch bedeutend abnimmt. Diese Annahme enthalte schon an sich selbst etwas wenigstens bis jetzt Unbegreifliches, und sie werde widerlegt durch den Umstand, daſs die so getrocknete und erhitzte Säule einer der vollkommensten Isolatoren sey. Verbinde man, während ihr einer Pol den Boden berührt, den andern freien Pol leitend mit dem Conductor eines Elektrometers, so könne man letzteres durch geriebenes Glas oder Siegellack auf jeden beliebigen Grad laden, ohne daſs sich diese mitgetheilte Elektr. durch die Säule hindurch in den Boden ergieſse. Ja JAEGER konnte, selbst wenn er die Blechkapsel mit der in ihr eingeschlossenen erhitzten Säule auf eine heiſse Glasplatte setzte, den Säulenconductor und die Kapsel mit entgegengesetzter El. laden, ohne daſs sich diese durch die Säule hindurch mit einander vermischten. Hängt man die heiſse Säule vermittelst einer trockenen Seidenschnur an dem einen Pole auf und theilt diesem El. mit, so erscheint am andern Pole sehr langsam die homologe Elektricität von derselben Spannung (??); nimmt man die letztere durch Berührung hinweg, so erscheint am zweiten Pole die entgegengesetzte Elektr., welche vorher durch Condensation dort latent gewesen war. Ebenso konnte man

1 G. LXII. 229.
2 A. a. O. 236.

Digitized by Google

eine geladene Leidner Flasche nur theilweiſe und nie mit einer Explosion durch eine solche heiſse getrocknete Säule hindurch entladen. Bei der Anwendung einer solchen Säule von 1000 Scheiben springen aus einer Batterie von 4 Quadratschuh innerer Belegung und der Verbindung des einen Pols der Säule mit der äuſsern Belegung, wenn ein mit dem andern Pole verbundener isolirter Leiter dem Conductor der Batterie genähert wurde, bloſs einige knisternde Funken über; der gröſste Theil der Ladung war in der Batterie zurückgeblieben, die beiden Säulenpole aber fanden sich mit entgegengesetzter El. geladen.

Auf diese Versuche gründet nun Jaeger seine von der Volta'schen abweichende Erklärung, indem er die Vervielfachung der Spannung durch eine condensatorische Wirkung der Metallplatten auf einander durch die sie trennende Schicht hindurch vermittelst der El., welche sie selbst durch ihre elektromotorische Kraft entwickelt, begreiflich zu machen sucht. Um die Ladung von Condensatoren, Leidner Flaschen zu erklären, nimmt er eine ganz eigenthümliche Art von Leitung in der Säule an. Er unterscheidet nämlich Leitung oder *Durchströmung in einer Richtung* von einem Plattenpaare zum andern durch den Zwischenleiter hindurch, wie Volta sie annehmen müsse und wie sie bei den eigentlichen Leitern statt finde, von Leitung oder Durchdringung oder *Eindringung* von *entgegengesetzten Richtungen* aus. Die entgegengesetzten Elektricitäten, welche an den durch die Harzschicht getrennten einander gegenüberstehenden Flächen der Metallplatten sich anhäufen und latent machen, zugleich aber auch ein Bestreben haben, sich mit einander zu verbinden, sollen allerdings in das Innere der Harzschicht eindringen können, um sich daselbst zu neutralisiren. Dieses sey der Charakter solcher Isolatoren, daſs sie zwar die Elektricität in einer Richtung mit durchlassen, aber wohl von zwei Seiten her für die beiden Elektricitäten so durchdringlich sind, daſs sich beide in ihnen begegnen und in ihrem Inneren mit einander neutralisiren. In dem Verhältnisse, in welchem diese Durchdringung und Neutralisirung geschehe und durch gleichzeitig wirkende elektromotorische und condensirende Kraft die entgegengesetzte El. sich stets unerschöpflich wieder erneuere, ergieſse sich auch von dem Pole aus El. in den Condensator

oder in eine Leidner Flasche und lade sie. Würde eine gewöhnliche Durchleitung im Volta'schen Sinne statt finden, so würde man diese Ladung nicht begreifen können, indem ja in derselben Zeit, in welcher die Elektricität die Harzschichten durchdringt, durch welche die Elektromotoren (in Jaeger's Säulen) von einander getrennt sind, auch die Harzschicht durchdrungen wurde, welche die Condensatorplatten von einander trennt[1]. Diese Ansicht von der Wirkungsart der trockenen Säule sucht Jaeger durch eine sehr sinnreiche Vergleichung mit den el. Erscheinungen des *Turmalins* noch weiter aufzuklären und zu bestätigen[2]. Er dringt in dieser Vergleichung vorzüglich auf den Satz, daſs der eine Pol nur dann El. zeige, wenn dem andern Pole gleichzeitig seine El. entzogen werde. Wenn ein Turmalin auf eine Glasröhre befestigt doch mit dem einen Pole El. zeige, so werde verhältniſsmäſsig ein anderer Theil thätig, *da die Glasröhre nicht vollkommen isolire.* Man könne den Turmalin gleichsam als eine Aneinanderreihung von Blättchen, von denen je zwei als Elektromotoren wirken und das dritte gleichsam die Rolle der Harzschicht spiele, betrachten, von denen eine sehr groſse Anzahl in gleicher Ordnung an einander gelagert sind. Wir verweisen in Rücksicht auf die weitere Ausführung auf die Abhandlung selbst.

Was nun das eigentliche Erklärungsprincip der Verstärkung der Spannung mit der Zahl der Plattenpaare durch eine Wirkung der Zwischenleiter als *Condensatoren* betrifft, ein Princip, welches Jaeger sogar auf die nassen Säulen ausgedehnt hat, so beziehen wir uns auf die bereits[3] gelieferte Prüfung. Den Unterschied einer Fortleitung und Bewegung der Elektricität in einer Richtung und eines Eindringens und Durchdringens von zwei entgegengesetzten Seiten her können wir durchaus nicht zugeben. Für den Anhänger der Franklin'schen Theorie existirt schon zum voraus ein solcher Unterschied gar nicht, in ihrem Sinne ist alle Fortleitung der El. stets nur eine *einseitige*, findet immer nur in *einer* Richtung statt, für den Dualisten dagegen ist jede Leitung eine

1 G. XLIX. 54.
2 G. LV. 369.
3 S. Art. *Galvanismus.* Bd. IV. S. 977 bis 987.

Digitized by Google

Durchdringung von zwei Seiten her, immer macht die eine freithätige oder überwiegende El., von der die Wirkung ausgeht, ihren Gegensatz frei, der ihr von der entgegengesetzten Seite entgegenkommt und mit dem sie sich neutraliſirt, und so findet alle Fortleitung auch durch die besten Leiter immer nur auf dieselbe Weise statt, wie Jaeger sie nur für die sogenannten Isolatoren gelten lassen will. Der ganze Unterschied ist ein bloſser gradativer oder bezieht sich auf die Schnelligkeit, mit welcher diese abwechselnde Zersetzung und Wiederzusammensetzung des 0 und des + und des — im Raume erfolgen. Insofern es keine absoluten Isolatoren giebt, haben auch alle jene Schichten von Copalfirniſs, Lackfirniſs, Taffent u. s. w. eine relative Leitungsfähigkeit für El. und sind also wohl im Stande, die El. von einem Plattenpaare zum andern über- und durchzuleiten und so die Zunahme der El. mit der Anzahl der Plattenpaare durch bloſse Addition zu bewerkstelligen. Nur geschieht diese Leitung in dem Verhältnisse langsamer, in welchem der Zwischenleiter überhaupt ein besserer sogenannter Isolator ist, weswegen der el. Strom allezeit schwächer wird in dem Verhältnisse, in welchem sich die Zwischenleiter mehr der absoluten Austrocknung nähern. Jaeger behauptet ja selbst in seiner Abhandlung über den Turmalin, daſs es auſser der Luft keinen vollkommenen Nichtleiter gäbe. Wollte er aber in jener Säule, welche Watkins[1] zu Stande gebracht haben will, in welcher eine *bloſse dünne Luftschicht* den Zwischenleiter bildet, den letzten unwiderleglichen Beweis für seine Erklärung und gegen Volta's Theorie in Anspruch nehmen, so könnten wir ihm auch diese Zuflucht nicht einräumen, da auch die Luft, besonders wenn sie sehr feucht ist, ein wenn gleich sehr unvollkommener Leiter ist und auch mit ihrer Dichtigkeit ihr Widerstand gegen den Ueber- und Durchgang der El. abnimmt. Auſserdem kommt Jaeger mit sich selbst in Widerspruch. An einer Stelle[2] behauptet er, die Elektricität seiner trockenen Säule selbst durch einen solchen Condensator verstärkt dargestellt zu haben, dessen Platten durch dieselbe isolirende Schicht von einander getrennt gewesen seyen, wie die Platten

1 Poggendorff's Ann. XIV. 386.
2 G. XLIX. 54.

der kleinen Condensatoren, aus denen seine trockenen Säulen aufgebaut gewesen waren. An einem andern Orte[1] bemerkt er aber dagegen ausdrücklich, daſs man zur Ladung eines Condensators durch irgend eine Säule die Schicht, welche die Condensatorplatten von einander trenne, immer um einen Grad mehr isoliren müsse, als die Schicht, welche die Plattenpaare von einander trenne, und führt als Belege mehrere besondere Fälle an.

Jaeger stützt sich besonders[2] auf folgenden Versuch als einen Beweis für das Vermögen der Holzschichten und anderer solcher isolirenden Zwischenlagen seiner trockenen Säulen, die an ihren Grenzflächen vorhandenen entgegengesetzten Elektriditäten allmälig in ihr Inneres eindringen zu lassen, so daſs sie sich einander begegnen und gegenseitig neutralisiren, die *Durchleitung in einer Richtung dagegen zu verweigern*, so daſs, wenn man eine nicht sehr groſse trockene oder nasse Säule an ihrem einen Pole a mit dem Erdboden und an ihrem andern Pole b mit einem Elektrometer verbinde, dieses das Maximum von Elektricität zeige, das diese Säule geben könne. Lege man nun auf den Pol b einen jener zusammengeklebten Condensatoren mit seiner einen Scheibe, während die andere Scheibe desselben ableitend berührt werde, so fallen die Strohhalme des Elektrometers bedeutend und zwar bleibend zusammen. Dieses könnte nicht geschehn, wenn nicht durch den harzigen Zwischenkörper wirklich anhaltend El. verloren ginge. Der harzige Zwischenkörper könne aber hier nicht etwa bloſs als ein schlechter Leiter wirken, welcher die El. *in einer Richtung* durch sich hindurch in den Boden gehn lasse, denn die beiden Scheiben des zusammengeklebten Condensators werden bei diesem Versuche mit *entgegengesetzten Elektricitäten geladen.* Es könne daher die von b kommende El. nur dadurch, daſs sie in den harzigen Zwischenkörper eindringt und sich in ihm mit der vom Boden aus herbeiströmenden entgegengesetzten El. neutralisirt, so geschwächt werden, wie es die bleibende verminderte Divergenz des Elektrometers zu erkennen giebt. Dagegen erinnern wir ganz einfach, daſs die Harzschicht des

1 G. LII. 102.
2 G. LII. 89.

Digitized by Google

kleinen Condensators, insofern sie nur eine relativ isolirende ist, die Elektricität, deren Spannung einen gewiſsen Grad übertrifft, allerdings in sehr kurzer Zeit und gleichsam augenblicklich und gleichsam als einen kleinen Funken durch sich hindurchdringen läſst. Dieses gilt also auch hier von der El. der Säule, sofern sie einen gewiſsen Grad von Spannung übertrifft, dagegen wird die El. von schwächerer Spannung und etwa von so schwacher, daſs sie unmittelbar auf das Elektrometer nicht mehr wirkt, durch die Harzschicht zurückgehalten oder wenigstens nur sehr langsam durchgeleitet, und diese wirkt begreiflich nach dem gewöhnlichen Gesetze des Condensators und bindet in der gegenüberstehenden Platte die entgegengesetzte Elektricität, so wie sie gegenseitig von dieser gebunden wird, und eben davon hängt die Ladung des Condensators ab.

Hier verdient noch auf eine Beobachtung de Lüc's Rücksicht genommen zu werden, welche uns einen Beweis zu liefern scheint, daſs der Vorgang, durch welchen sich die Pole einer Säule laden, ein ganz anderer ist, als der Vorgang der Elektricitätserregung durch Vertheilung, zu welchem auch die Elektricitätserregung durch condensatorische Wirkung gehört. Letztere kann auch durch eine lange Strecke von Nichtleitern (lange Glasstangen) gleichsam momentan geschehn, indem die entgegengesetzten Elektricitäten nur von einander getrennt, aber nicht fortbewegt werden, und ist vergleichbar mit der Fortpflanzung der Bewegung durch eine beliebig lange Reihe elastischer Kugeln von gleicher Masse, von denen nur die äuſserste in demselben Augenblicke abspringt, in welchem die bewegte an dem andern Ende anstöſst, während alle dazwischen befindliche Kugeln ruhend bleiben. Auffallend war für de Lüc (so heiſst es in seinem Aufsatze über die trockene Säule[1]) die auſserordentliche Langsamkeit, mit welcher die eigentliche elektromotoriche Wirkung in seiner Säule vor sich ging, während, wenn bloſs ihre Leitungsfähigkeit in Anspruch genommen wurde, sie die El. sehr schnell durch sich hindurchleitete. Der kleinste Grad von Elektricität, den ein isolirter positiv oder negativ elektrisirter Körper dem einen Ende der Säule mittheilte, äuſserte sich *augenblicklich* am andern Ende,

1 G. XLIX. 107.

war er nur so stark, die Goldblättchen zur Divergenz zu bringen. Wurde dagegen, wenn beide Elektrometer an den Enden der Säule gleich divergirten, das eine mit dem Finger berührt, so daſs die Blättchen daselbst zusammenfielen und die Blättchen des andern stärker divergirten, so verging zuweilen eine geraume Zeit, ehe die Blättchen des ersteren wieder zu ihrer vorigen Divergenz kamen. So langsam pflanzte sich die in dem Apparate ausgebildete el. Flüssigkeit durch die Säule fort. Was de Lüc im ersten Falle Fortleitung nennt, ist nichts anders, als Wirkung durch Vertheilung, da die Elektricität, die auf das eine Ende eines schlechten Leiters wirkt, die ihr gleichnamige El. thätig und frei macht, gerade so, wie wenn sie ihm mitgetheilt worden wäre.

Daſs jene Schichten von Firniſs, die erst vollends ausgetrocknet wurden, nachdem die Metallplatten schon an einander geklebt waren, doch immer noch einige Feuchtigkeit zurückhalten konnten und darum noch immer mit einigem Momente von Leitungsfähigkeit wirkten, geht aus einem Versuche Schübler's hervor, welcher eine[1] Säule von 40 Plattenpaaren Zink und Kupfer errichtete, die in der Schmelzhitze durch eine Lage Colophonium mit einander zusammengekittet waren und deren Rand noch mit Harz überzogen wurde. *Diese Säule zeigte auch nicht die allergeringste Spur von Elektricität.* Schon eine leichte Befeuchtung des Randes nach Wegnahme des Harzes war aber schon hinreichend, diese wiederum hervorzurufen.

Indeſs scheint noch eine Schwierigkeit der Erklärung nach Volta's Principe entgegenzustehn, nämlich die Erhöhung der Thätigkeit der Säule, welche sich sowohl durch einen höhern Grad von Spannung als auch durch die gröſsere Schnelligkeit der Ladung des Condensators offenbart, *in Folge der Erhitzung*, welche den Zwischenleiter, sowohl das Papier als auch in Bohnenberger's Versuchen das gekochte Leinöl, *mehr isolirend gemacht zu haben schien.* Jaeger[2] schreibt diese Wirkung einem Vermögen der Wärme zu, kraft dessen sie das wechselseitige Eindringen und die Zerstörung der entgegengesetzten Elektricitäten in den Zwischenleitern der Elek-

1 Schweigger XVI. 115.
2 G. LXII. 243. fg.

tromotoren (den Papieren) befördern und erleichtern muſs, vielleicht durch bloſses Auflockern der Textur des Papiers oder durch verminderte Adhäsion der elektrischen Flüssigkeiten an dasselbe, oder vielleicht gar durch absolute Vermehrung der Expansibilität der Elektricität, welche letztere Annahme vielleicht selbst zum Theil die gröſsere Spannung, welche eine stark erhitzte getrocknete Säule in Vergleich mit einer nicht künstlich getrockneten und nicht erhitzten Säule zeigt, erklärt, wofür auch die Erfahrung spreche, daſs im luftleeren Raume die Intensität der Elektricität des Pols einer Säule gröſser sey, als in der freien Luft, wovon sich wohl keine andere Ursache angeben lasse, als vermehrte Expansibilität durch aufgehobenen Druck der Luft.

Da wir, und, wie es uns scheint, aus guten Gründen, jenen von Jaeger aufgestellten Unterschied zwischen Durchleitung der El. in einer Richtung und Eindringen entgegengesetzter Elektricitäten von beiden Seiten in das Innere eines Zwischenleiters nicht zugeben können, so können wir die Erklärungsweise der Beförderung der Leitung der Elektricität in der Säule durch die Wärme auch für uns in Anspruch nehmen. Es ist bekannt genug, wie die besten Isolatoren, z. B. Harz, Siegellack u. s. w., durch bloſse Erwärmung, besonders wenn sie bis zum Schmelzen getrieben wird, an Isolirungsvermögen verlieren. Sollte das so viel als möglich vollkommen ausgetrocknete Papier, das in der gewöhnlichen Temperatur allerdings ein guter Isolator ist, durch die Erhitzung nicht vielmehr ein guter Leiter werden und durch diese an Leitungsfähigkeit verhältniſsmäſsig mehr gewinnen, als es durch den Verlust an Feuchtigkeit daran verliert? Sollte nicht auch die vollkommenere Isolirung der Pole der Säule, die doch immer entweder durch die Glasröhren, in die sie eingeschlossen werden, oder durch die Seidenschnüre, durch welche die Säulen zusammengebunden sind, mit einander in Verbindung stehn, an dieser Verstärkung der Thätigkeit der Säulen Theil haben, indem Seide und Glas durch Verjagung der Feuchtigkeit, welche hygrometrisch an ihrer Oberfläche adhärirt, durch die Hitze bessere Isolatoren werden und folglich der Abnahme der Polarelektricitäten in Folge ihrer wechselseitigen Ausgleichung mehr Widerstand leisten? Sollte die elektromotorische Kraft der Metalle selbst nicht durch die Wärme bis auf

einen gewiſsen Grad zunehmen? Ein bis auf — 10° R. abgekühltes Plattenpaar von Zink und Kupfer zeigte, wenigstens durch den Condensator, eine geringere Spannung, als in der mittleren Temperatur. Man sieht indeſs, daſs noch neue Versuche erforderlich sind, um die Wirkungsart der Hitze in Erhöhung der Säulenthätigkeit vollständig aufzuklären.

E. Anwendung der trockenen Säule.

1) Der wichtigste Nutzen, den man sich im Anfange von der Zamboni'schen Säule versprach, war der, durch das Pendel, das sie in Bewegung setzte und nach der ersten Versicherung[1] ununterbrochen gleichförmig in Bewegung erhalten sollte, eine gleichförmig gehende Uhr sich verschaffen zu können. Ramis in München war wohl der erste, der eine solche elektrische Pendeluhr einrichtete, und schon hatte ein Münchner Blatt (wöchentlicher Anzeiger für Kunst und Gewerbfleiſs) den Vorschlag gemacht, solchen elektrischen Pendeluhren den Namen *Ramisuhren* zu geben, um Baiern das Vorrecht der ersten Erfindung gegen das Ausland zu sichern. Einige Monate nachher zeigte schon der Mechanicus Buzengeiger in Tübingen dem Könige von Würtemberg eine mit dem elektrischen Pendel verbundene Vorrichtung, welche eine mit Secunden-, Minuten- und Stundenzeiger verbundene Uhr bildete. Das kreisrunde, einen Zoll tiefe Uhrgehäuse ruhte völlig isolirt auf einer massiven Glasstütze und an diesem Gehäuse hing das elektrische Pendel frei herab. Das untere mit einer hohlen silbernen Kugel versehene Ende desselben schwang zwischen zwei Metallglocken hin und her, welche von lackirten Glasröhren getragen waren, die auf dem Fuſsgestelle standen. Die Säulen lagen in dem Kasten des Fuſsgestelles verborgen und die Drähte, welche ihre Pole mit den Glocken verbanden, gingen durch jene Glasröhren. Die Achse des Pendels befand sich in dem Uhrgehäuse, und über und unter ihr trug die Pendelstange einen beweglichen Hebel, deren Enden bei den Schwingungen des Pendels schiebend in die Zähne eines Steigrades eingriffen, welches dann das übrige sehr einfache Räderwerk bewegte.

Ungefähr damit übereinstimmend, doch noch zusammen-

---

1 G. L. 189.

Digitized by Google

gesetzter, war die elektrische Pendeluhr, welche Klingert in Breslau ausführte und wovon eine Beschreibung und Abbildung sich in Gilbert's Annalen[1] findet.

Aber sehr bald überzeugte man sich, daſs der Gang des Zamboni'schen Pendels durchaus nicht gleichförmig ist, daſs also wenigstens keine Verbesserung der Uhren von demselben zu erwarten sey und solche Einrichtungen also höchstens nur den Vortheil gewähren konnten, die etwaigen Schwankungen, Ebben und Fluthen in der Entwickelung der El. der Säule durch die Zahl der Schwingungen des Pendels in einer gegebenen Zeit genauer abmessen zu können. Leider sind zum Verdrusse der Liebhaber nach Monaten oder wenigstens nach Jahren alle diese Glockenspiele und Pendeluhren zum Stillstande gekommen[2].

2) Eine zweite sehr nützliche Anwendung der Zamboni'schen Säule war zur Verfertigung eines sehr empfindlichen *Elektrometers*, dessen Angabe wir Bohnenberger in Tübingen verdanken und von welchem bereits an seinem Orte[3] geredet worden ist.

3) Eine dritte sehr sinnreiche Anwendung der trockenen Säule hat Rousseau zur vergleichenden Bestimmung des sehr geringen Leitungsvermögens verschiedener, zu den Isolatoren gehöriger Körper gemacht, worüber bereits das Nähere angegeben worden ist[4].

4) Bohnenberger hat auch die trockene Säule als vorzüglich geeignet empfohlen, um dadurch die condensirende Kraft

---

1 LIII. 342.

2 Muncke sah im Herbst 1828 bei Zamboni selbst eine solche seit vielen Jahren gehende Uhr. Bei dieser wurde durch mehrere verbundene Säulen aus Silberpapier und mit Milch aufgetragenem Kohlenpulver von etwa 1,5 Zoll Durchmesser ein Centrifugalpendel in steter Bewegung erhalten, welches die Räder der Uhr bewegte, deren regelmäſsiger Gang jedoch durch ein zweites gewöhnliches Pendel regulirt wurde, worauf dann der richtige Gang der Uhr beruhte. Chevalier in Paris verfertigt kleine Carrouselle, die durch zwei Zamboni'sche Säulen mit groſser Schnelligkeit umlaufen; sie sind jedoch nicht von langer Dauer.

3 S. *Elektrometer*. Bd. III. S. 371.

4 S. *Elektricität*. Bd. III. S. 192.

Digitized by Google

eines jeden Condensators zu messen, wie auch bereits[1] näher auseinandergesetzt worden ist.

5) Da die Zamboni'sche Säule wenigstens einige Wochen hindurch ihre Spannung unverändert beibehält und dieselbe, wenn ein isolirter Leiter von geringer Oberfläche mit den Polen in Berührung kommt, sie augenblicklich wieder herstellt, so kann sie sehr gut dazu benutzt werden, das Gesetz, nach welchem sich die Stärke der elektrischen Anziehungs- und Zurückstoſsungskraft der Elektricität im Verhältnisse der Entfernung verändert, genauer zu messen, und eben zu diesem Zwecke hat Yelin[2] sich derselben bedient.

P.

Säure.

Acidum; Acide; *Acid.* Unter Säure versteht man eine Classe von Verbindungen, welche mehr oder weniger folgende Eigenschaften zeigen: den Salzbasen, besonders den Alkalien, entgegengesetzt, mit groſser Affinität gegen dieselben begabt, bei der Verbindung mit ihnen ihre basischen Charaktere aufhebend und sich aus dieser Verbindung im Kreise der Volta'schen Säule am positiven Pole abscheidend, im Wasser löslich, von saurem Geschmack und oft von ätzender Wirkung auf organische Körper, Lackmus röthend und überhaupt organische Farben den Alkalien entgegengesetzt verändernd. Die Säuren werden in unorganische und organische eingetheilt; erstere zerfallen je nach ihrem Gehalte an Sauerstoff oder Wasserstoff in die Sauerstoff- und Wasserstoffsäuren, oder, je nachdem der mit dem Sauerstoff oder Wasserstoff verbundene Körper, das Säure-Radical, nicht metallisch oder metallisch ist, in Mineral- und Metallsäuren; die organischen Säuren sind theils stickstofffrei (vegetabilische), theils stickstoffhaltige (thierische).

G.

Salze.

Sales; Sels; *Salts.* Unter diesem Namen verstanden

---

1 S. *Condensator.* Bd. II. S. 243.

2 Dessen Versuche und Beobachtungen zur nähern Kenntniſs der Zamboni'schen trocknen Säule. S. 28 fg.

Digitized by Google

die älteren Chemiker in Wasser lösliche und mit Geschmack begabte Materien. Sie theilten sie in *saure Salze* (die jetzigen Säuren), in *Laugensalze* (die jetzigen Alkalien), in *Neutralsalze* (Verbindungen der Säuren mit Alkalien), in *Mittelsalze* (Verbindungen der Säuren mit Erden) und in *Metallsalze* (Verbindungen der Säuren mit schweren Metalloxyden).

Die neuere Chemie versteht unter Salzen alle Verbindungen der Säuren mit den Salzbasen, sie seyen im Wasser löslich und mit Geschmack begabt oder nicht. Neuerdings hat jedoch dieser Begriff der Salze nachfolgende Erweiterungen erhalten: 1) durch Vermischen der wässerigen Salzsäure mit wässerigem Natron erhält man eine Flüssigkeit, in welcher man die Gegenwart eines Salzes, des salzsauren Natrons, annehmen kann, die jedoch beim Abdampfen Kochsalz liefert, d. h. eine Verbindung von Chlor und Natrium. Da also in festem Kochsalze keine Salzbasis und keine Säure mehr vorhanden ist, sondern bloſs Metall und Chlor, so kann dieser Körper, von welchem gerade der Name Salz herrührt, nach der obigen Festsetzung des Begriffs nicht mehr als ein Salz betrachtet werden. Ebenso verhalten sich auch die übrigen Verbindungen der Wasserstoffsäuren mit den Metalloxyden. Um nun doch die Fluor-, Chlor-, Brom-, Iod- und Cyanmetalle als Salze betrachten zu können, nennt Berzelius das Fluor, Chlor, Brom, Iod und Cyan *Salzbilder*, denen das Vermögen zukomme, ein Metall unmittelbar in ein Salz zu verwandeln. Uebrigens wird mit Annahme dieser Ansicht jede Definition von Salz unmöglich. 2) In den Salzen der Metallsäuren sind 2 oxydirte Metalle mit einander vereinigt, es giebt aber ganz analoge Verbindungen, in welchen der mit den beiden Metallen verbundene Sauerstoff durch Chlor, Iod, Schwefel, Cyan u. s. w. vertreten ist. So entspricht dem arseniksauren Kali die Verbindung von Schwefelarsenik mit Schwefelkalium u. s. w. Man kann hierin das Schwefelarsenik als die Säure und das Schwefelkalium als die Basis betrachten und auf diese Weise auſser den Sauerstoffsalzen auch Chlorsalze, Iodsalze, Schwefelsalze u. s. w. unterscheiden. Man sieht, daſs es, um diese ebenfalls von Berzelius herrührende und von Bonsdorff erweiterte Ansicht der obigen Definition entsprechend zu finden, bloſs darauf ankommt, der

Digitized by Google

Begriff von Säure und Salzbasis etwas weiter zu nehmen, als es gewöhnlich der Fall ist.

G.

Saturn.

Saturn, oder auch Chronos, ist der Name des vorletzten bekannten Planeten in unserm Sonnensystem. Er ist von blassem, ins Bleigraue fallendem Lichte, nicht heller, als die gewöhnlichen Sterne erster Gröſse. Durch mittelmäſsige Fernröhre betrachtet bietet er die sonderbare Gestalt einer gleichsam mit zwei Henkeln versehenen Kugel dar, und so erschien er auch im J. 1612 dem Galilei und zwanzig Jahre später dem Gassendi. Der fleiſsige Hevelke bemerkte das Veränderliche dieser Gestalt, die ungleiche Oeffnung dieser Henkel und ihr zuweilen eintreffendes gänzliches Verschwinden. Erst im J. 1659 gelang es Huyghens, das Räthsel zu entwirren und zu zeigen, daſs diese anomalen Erscheinungen von einem groſsen platten Ringe hervorgebracht werden, welcher als ein vom Planeten getrennter Körper denselben umgiebt und je nach seiner Stellung gegen die Erde sich bald in einer beträchtlichen Flächen-Ausdehnung, bald wie eine schmale verschwindende Linie, in seinen mittlern Neigungen aber als eine mehr oder weniger breite Ellipse darstellt. Da der Ring eine höchst geringe Dicke hat, so verschwindet er auſser diesen, durch seine Lage gegen die Erde bedingten Fällen, auch dann zumal, wenn seine Ebene durch das Centrum der Sonne geht, da dann diese nicht seine platten Seiten, sondern nur die schmale Kante beleuchtet. Zwischen dem Ringe und dem Hauptkörper bemerkt man einen dunkeln Zwischenraum, etwa $\frac{1}{3}$ vom Durchmesser des Saturn, durch welchen schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts der durch seine Astrotheologie bekannte Derham kleine Sterne erblickte, und mit guten Fernröhren nimmt man auch auf der Fläche des Ringes einen schwarzen Kreis wahr, den schon Dom. Cassini im J. 1684 entdeckt hatte, welcher den Ring in zwei concentrisch erscheinende Ringe theilt. Der Umstand, daſs der Ring einen bestimmten Schlagschatten auf die Saturnskugel wirſt, beweist, daſs es ein undurchsichtiger, gleich dem Planeten von der Sonne erleuchteter Körper sey. Saturn hat überdem

Digitized by Google

sieben Monde zu Begleitern, deren nähere Beschreibung im Art. *Nebenplaneten* gegeben worden ist.

„Mit diesen Eigenthümlichkeiten und diesem Gefolge bildet,“ wie Herschel[1] sich ausdrückt, „Saturn eine der reich„haltigsten und auſserordentlichsten Erscheinungen am Him„mel. Eine prächtige Kugel von einem staunenswürdigen dop„pelten Ringe umfaſst, begleitet von sieben Satelliten, geziert „mit Streifen um den Aequator; zusammengedrückt an den „Polen, sich umdrehend um ihre Axe; wechselsweise verfin„sternd ihren Ring und Trabanten und von ihnen verfinstert; „der äuſserste Ring ebenfalls um seine Axe sich wälzend, so „wie der fernste der Trabanten; alle Theile des Saturnsystems „nach Umständen einander Licht zuwerfend; die Ringe und „Monde erhellend die Nächte des Saturnsbewohners; die Ku„gel und Trabanten beleuchtend die dunkeln Theile des Rin„ges; Planet und Ringe rückwärts die Monde mit dem reflec„tirten Lichte der Sonne bestrahlend, wenn sie zur Zeit ihrer „Conjunctionen desselben beraubt sind.“

Die Elemente dieses Planeten für den 1. Jan. 1801 sind folgende[2]:

Mittlere Distanz v. der Sonne in Halbmessern d. Erdbahn	9,538786, oder 197 Millionen geograph. Meilen. (197 138 092)
Mittlere siderische Umlaufszeit in mittlern Sonnentagen	10759, 2198 od. 29 J. 166 T. 19 St. 4 M. 13 S.
Excentricität in Theilen der halben Axe	0,0561505.
Neigung der Bahn	2° 29′ 35″,7.
Länge des aufsteigenden Knotens	111° 56′ 37″,4.
Länge des Periheliums	89° 9′ 29″,8.

1 In s. Abhandlg. über die Gestalt des Saturns. Phil. Trans. f. 1805. II. 272.

2 Nach Herschel Sohn aus dessen treatise on Astronomy p. 416. Bessel (Schum. Astr. Nachr. No. 195.) giebt die Masse = 285,940 an. Die Dichtigkeit des Saturns ist nur etwa $\frac{1}{3}$ der Dichtigkeit der Erde, so daſs die Saturnskugel aus Stoffen bestehn muſs, die nicht schwerer sind als Tannenholz.

Digitized by Google

Mittlere Länge des Planeten für obigen Zeitpunct	135° 20′ 6″,5.
Masse in Milliontheilen der Sonnenmasse	284,738.
Aequatoraldurchmesser in Erddurchmessern	9,987 oder 17166 geographische Meilen.

Von der Erde aus gesehn, in der mittlern Entfernung von derselben, erscheint dieser Durchmesser unter einem Winkel von 17,99 Sec.[1]. Die Sonne zeigt sich daselbst unter einem Winkel von etwa 3½ Minuten und die Stärke ihres Lichts beträgt $\frac{1}{91}$ von derjenigen auf der Erde. Daſs man daselbst von den Planeten Mercur und Venus etwas wisse, ist kaum zu vermuthen, da selbst die Erde vom Saturn aus gesehn sich höchstens 6 Grade von der Sonne entfernen kann. Die Oberfläche Saturns ist mit ähnlichen Streifen wie Jupiter umzogen, die mit der Ebene des Ringes parallel gehn; ihre Richtung scheint mithin diejenige des Aequators anzudeuten und sie stimmt auch mit derjenigen des gröſsern Durchmessers überein[2]. Die Gestalt des Saturn zeigt nach Herschel keineswegs eine so regelmäſsige Abplattung wie Jupiter; sie gleicht mehr einem an den Ecken abgerundeten sphärischen Rectangel und zeigt sich wie der Ueberrest einer weit stärkern Abplattung, von welcher ein bedeutender Theil der Aequatorzone sich losgerissen hätte[3]. Man hat diese anomale Gestaltung aus einer Refraction der Saturnsatmosphäre erklären wollen. Allein es hält schwer, sich von der Stärke und Permanenz einer solchen Verzerrung und noch mehr von der Willkür ihrer Richtung einen Begriff zu machen. Herschel setzt die geographische Breite der Puncte, zwischen welchen der scheinbare Durchmesser des Planeten am gröſsten ist, in 43° 20′; warum sollte die Refraction gerade in dieser Richtung am stärksten ausdehnend oder an der Aequatorealzone zusammenzie- Fig. 26.

---

1 Nach Struve (Schum. Astron. Nachr. No. 139.). Herschel hatte ihn 22″,81 gefunden. Schröter machte ihn = 18″,075; Bessel 17″006. Den Polardurchmesser setzte Herschel = 20″61, Bessel = 15″,674.

2 Neuere Beobachtungen von Schwabe scheinen dieses zweifelhaft zu machen. Schum No. 239.

3 Unsere Figur ist eine gewissenhafte Copie von derjenigen, die Herschel in den Philos. Trans. f. 1805 gegeben hat.

Digitized by Google

hend wirken? Bequemer noch ist die Aushülfe derjenigen, die, was nicht in ihre angenommenen Vorstellungen paſst, geradezu bezweifeln. Allein bei einem Beobachter wie Herschel läſst sich ein solches Argument nicht anbringen. Er selbst ging bei dieser Wahrnehmung nicht leichtsinnig zu Werke. Eingenommen von der Idee, daſs Saturn gleich dem Jupiter ein Sphäroid sey, hatte er im J. 1789 sich begnügt, den Aequatoreal- und Polardurchmesser zu messen, ohne einen Gedanken an eine andere Eigenthümlichkeit zu haben, und wenn ihm zuweilen die Gestalt dieses Körpers etwas unregelmäſsig vorkam, so wurde das der Unterbrechung des Ringes zugeschrieben, der die Ansicht des vollen Umfangs verhinderte. Erst als Herschel im Frühjahr 1805, einen neuen zehnfuſsigen Reflector durchprobirend, auch den Saturn betrachtete, fiel ihm jene Abweichung bestimmter in die Augen[1]. Vom April bis Juni d. J. verfolgte er nun die gemachte Wahrnehmung mit allen Werkzeugen seines optischen Vorraths, mit Reflectoren von 7, 10, 20 und selbst mit dem von 40 Fuſs, bei 300- bis 600maliger Vergröſserung. Ueberall die gleiche Erscheinung! Oefters wiederholte Messungen gaben die Stelle des gröſsten Durchmessers in 46, 45 und 43 Grad der Breite. Bei reiner Luft den Saturn im Meridian betrachtend, sehr oft auch mit dem benachbarten Jupiter ihn vergleichend, spricht er in seinem Tagebuche wiederholt die Ueberzeugung aus: „Saturn ist gewiſs kein Sphäroid wie Jupiter; die gröſste Con„vexität liegt in einer hohen Breite; über jene Gestalt ist kein „Zweifel mehr. Sie bildet ein Viereck oder vielmehr ein „Parallelogramm (Rectangel), dessen Ecken tief abgerundet „sind, doch nicht bis zum Sphäroid; ich seh' es vollkom„men."

Eine Zeichnung, die Herschel nach den Messungen vom J. 1789 gemacht hatte, bedurfte nur einer geringen Reduction an den Stellen des gröſsten Durchmessers, um das im Teleskop gesehene Bild mit aller der Genauigkeit darzustellen, deren das Auge in der Beurtheilung solcher Gegenstände fähig ist. Auf die Ursache dieser merkwürdigen Gestaltung läſst Herschel sich nicht ein, sondern bemerkt nur im Vorbeigehn, daſs die Verflachung an den Polen ein Sphäroid andeute, dessen ei-

1 Philos. Trans. f. 1805. pt. II. p. 272.

Digitized by Google

gentliche Gestalt durch irgend eine äuſsere Ursache, vielleicht die Anziehung des Ringes, gestört worden sey.

Herschel hatte im J. 1793 seine Aufmerksamkeit auf fünf Streifen gerichtet, zwei helle und drei dunkle, die von der Aequatorealzone gegen den Pol sich erheben. Sie ziehn sich rund um die Saturnskugel, doch wechseln sie an Helligkeit und Schärfe, und einige Stellen zeigen eine bestimmte bleibende Verschiedenheit. Diese eigneten sich vorzüglich zur Bestimmung der Umdrehungszeit. Der vorsichtige Beobachter widmete dieser Untersuchung die Nächte vom 11. Nov. 1793 bis 16. Jan. 1794. Es ergab sich daraus eine Axendrehung von 16 St. 16′ 44″. Das Ganze umfaſste 154 Umdrehungen. Herschel fand, daſs, wie das am Mars bemerkt wird, die Polarzonen, wenn sie lange den Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen waren, weniger glänzend erschienen, als zur Zeit ihres Frühlings, was auf eine partielle Schneeschmelzung hindeuten möchte. Ueberhaupt war die Helligkeit der Polarzone ungleichförmig, es zeigten sich in derselben dunkle verwaschene Flecken von veränderlicher Natur, die wohl für ein atmosphärisches Erzeugniſs gelten konnten. Ebenso war eine starke Refraction, mithin auch eine Atmosphäre unverkennbar; die Satelliten, wann sie hinter den Planeten traten, schienen lange an der Saturnsscheibe zu kleben, ehe ihr Licht verschwand.

Die merkwürdigste und eigenthümliche Erscheinung bleibt jedoch der bereits erwähnte *flache dünne Ring*. Herschel hatte seinen Durchmesser zu dem der Saturnskugel wie 7:3 gesetzt und genaue mikrometrische Messungen der einzelnen Theile gegeben. Struve in Dorpat hat im Febr. und März 1826 diese Ausmessungen mit dem Filarmikrometer des 10-fuſsigen Refractors von Fraunhofer auf neue durchgenommen; sie geben, auf die mittlere Entfernung des Saturn reducirt, folgende Werthe[1]:

---

1 Ich habe hier die Angaben von Herschel's Mikrometer auf Struve's Messung des gröſsten Ringdiameters übergetragen; Herschel selbst giebt diesen 46″,6 statt 40″,22. Bessel in s. gelehrten Abhandlung über d. Bahn des Hugenischen Saturnstrabanten (Schum. Astron. Nachr. Th. X. No. 194.) zeigt, daſs Herschel in Folge einer Eigenthümlichkeit des 40fuſsigen Reflectors den Saturn wirklich *gröſser ge-*

Digitized by Google

	Nach Struve.	Nach Herschel.
Aeuſserer Durchmesser des äuſs. Ringes	40″,22	40″,22
Innerer Durchmesser des äuſs. Ringes	35,40	37,5
Aeuſserer Durchmesser d. innern Ringes	34,58	36,4
Innerer Durchmesser des innern Ringes	26,75	28,6
Aequatorealdurchm. d. Saturn	18,05	17,5
Breite des äuſsern Ringes	2,41	1,36
Breite der Spalte	0,41	0,56
Breite des innern Ringes	3,92	3,90
Abstand des Ringes vom Saturn	4,35	
Neigung der Ringebene gegen die Ekliptik	28° 6′	
Lage seiner Knoten	170° u. 350°.	

Auffallend ist hier die genaue Uebereinstimmung beider Beobachter für die Breite des innern Ringes und die merkliche Verschiedenheit für die Breite das äuſsern. Herschel's Messungen sind vom October 1791, Struve's vom Februar 1826. Sollte in 35 Jahren eine Veränderung statt gefunden haben? Im März 1828 hatte Professor Schwabe in Dessau gefunden, daſs der Saturnsring nicht concentrisch mit der Kugel sey, sondern daſs Saturn im Ring etwas westlich liege. Harding, Schumacher und Struve fanden das Nämliche und der letztere bestimmt durch Messungen mit dem Fraunhofer'schen Achromaten den Zwischenraum auf der Ostseite zu 11″,073, auf der Westseite zu 11″,288. Auch Bessel fand aus seinen Untersuchungen über den sechsten Saturnstrabanten, daſs der Mittelpunct der äuſsern Begrenzung des Ringes ebenfalls östlich von dem des Planeten liege. Herschel Sohn und South haben zwar durch ihre Messungen keinen Unterschied erkannt, halten aber denselben dennoch für augenscheinlich[1]. Bessel[2] findet eine Excentricität

---

sehn habe, was vielleicht der groſsen Lichtstärke jenes Instrumentes zugeschrieben werden kann.

1 Astron. N. IX. No. 183. p. 14.

2 Eine förmliche Bestätigung erhält diese Wahrnehmung durch

des Ringes mit unsern gegenwärtigen Ansichten nicht vereinbar; man müſste, glaubt er, dabei voraussetzen, entweder daſs der Ring sich nicht um seine Axe drehe, oder daſs er aus unzähligen sich frei bewegenden Theilen bestehe, deren Bahnen eine gemeinschaftliche Apsidenlinie haben.

Der jüngere HERSCHEL[1] hingegen hält diese Excentricität gerade für eine Erhaltungsbedingung des Ringsystems. Wären die Ringe genau kreisförmig und mit dem Planeten concentrisch, so würden sie, trotz aller Centrifugalkraft, ein *unstabiles Gleichgewicht* bilden, das durch die geringste äuſsere Ursache gestört werden könnte; der Ring würde dadurch nicht etwa an irgend einer Stelle gebrochen, sondern in Masse auf den Planeten niedergerissen werden. Die geringste Verrückung des Hauptkörpers aus dem Centrum des Ringes würde ihn einer Seite desselben näher bringen und diese Annäherung würde zunehmend seyn. Daſs Kräfte dieser Art von einer combinirten Wirkung der Trabanten ausgehn könnten, wäre nicht schwer zu beweisen. Um also dem Systeme des Ringes die nöthige Stabilität zu verschaffen und jede anfängliche Störung unwirksam zu machen, genügt es, ihm selbst eine oscillatorische Bewegung zu ertheilen, die von irgend einer ungleichen Vertheilung der Masse im Ringe ausgehn mag; diese periodische Bewegung wirkt dann ähnlich, wie die Kreisbewegung, die ein Mann, der eine lange Stange in verticaler Richtung balancirt, mit seinem Finger beschreibt. Auf diesem beständigen Kampfe von erhaltenden und zerstörenden Kräften, der jede Anhäufung einer einseitigen Wirkung abwehrt, beruht die Sicherheit dieses Gebäudes, und eben seine Unveränderlichkeit liefert auch den Beweis, daſs der Ring unter

---

ein Citat aus den Actis Eruditorum pro anno 1684. p. 424. (und in dem Auszug von Venedig von 1740. Tom. I. pag. 259.), welches VIETH in den Astron. Nachrichten No. 260. beibringt. In dem Systema phaenomenorum Saturni autore GALLETIO, proposito ecl. Avenionensis, findet sich folgende Stelle: „Nonnumquam corpus Saturni *non exacte annuli medium obtinere* visum fuit: id quod semper accidit, quoties planeta quadrato aspectui cum Sole proximus est, quoniam tum parallaxis orbis sensu percipi potest. Hinc evenit, ut, quum planeta orientalis est, centrum ejus extremitati orientali annuli propius videatur, et *major* pars ab occidentali latere fit cum ampliori obscuritate“

1 Treat. on Astronomy. p. 286.

dem ganzen Einflusse der ihn umgebenden Kräfte, also, nachdem Saturn mit seinem ganzen Gefolge von Satelliten bereits in seiner Bahn um die Sonne sich bewegte, gebildet worden sey.

Auch Laplace[1] hatte schon früher sich dahin ausgesprochen, daſs die Saturnsringe durch die bloſse Cohärenz ihrer Molecülen sich nicht halten könnten, die dem Planeten nähern Theile würden durch den unaufhörlichen Zug der Schwere sich losgemacht und so die allmälige Zerstörung des Ringes herbeigeführt haben.

Es bedarf also nothwendig des Umschwungs um eine Axe, die durch das Centrum des Planeten geht. Ueberdem muſs der Ring eine ungleiche Breite oder Dicke haben, eine Eigenschaft, die auch wirklich durch die Beobachtungen indicirt wird. Wäre er in allen seinen Theilen vollkommen gleich, so wäre die kleinste Kraft, z. B. die Anziehung eines Trabanten, hinreichend, sein Gleichgewicht zu stören, und der Ring würde am Ende auf den Planeten hinunterstürzen.

Früher glaubte man nach einer von Short mit einem 12fuſsigen Reflector gemachten Beobachtung, daſs der Ring in mehrere concentrische Kreise getheilt sey. Herschel's genaue Beobachtungen haben jedoch diese Meinung als ungültig erwiesen; der Ring besteht nur aus zwei Theilen; die frühern Beobachter wollten beide Theile in *gleicher Gröſse* gesehn haben, da jedoch ihre Angaben auf keine Messungen sich gründen, so können sie nicht mit den spätern in Vergleichung gesetzt werden, um so mehr, da Herschel den Unterschied der Breite der Ringe geringer macht, als die neuern Beobachtungen.

Das Auffallendste ist die *höchstgeringe Dicke* des Ringes. Im J. 1789, als die Erde sich in der Ebene des Saturnsringes befand, erschien dieser als ein feiner Faden, an welchen die Trabanten wie Perlen angereiht waren. Die feine Lichtlinie schien kaum den vierten Theil des scheinbaren Durchmessers eines Trabanten, den Herschel auf 1 Secunde schätzte, einzunehmen. Dieſs gäbe doch noch eine Dicke von 239 geographischen Meilen. Schröter maſs im Junius 1803

1 Exposition du système du monde. 3me Éd. 4. p. 254.

Digitized by Google

den Schatten dieser Linie auf dem Planeten und leitete daraus die scheinbare Dicke des Ringes auf 0″,126 = 120 geograph. Meilen ab. Sir John Herschel will ihn nicht über 100 engl. Meilen d. h. etwa 22 geographische annehmen und Bessel bestimmt ihn aus der Masse der Ringe, die er $= \frac{1}{118}$ setzt, zu 29,7 geograph. Meilen, vorausgesetzt, daſs Ring und Saturn von einerlei Dichtigkeit und die Masse gleichförmig vertheilt sey.

Der Ring selbst zeigt ein helleres, weiſseres Licht, als der Saturnskörper. Herschel überzeugte sich hiervon, indem er beide Gegenstände mit immer stärkern Vergröſserungen betrachtete. Bei einer 500maligen Vergröſserung des siebenfuſsigen Teleskops nahm die Kugel eine gelbliche Farbe an, während der Ring weiſs blieb. Den äuſsern Ring fand Herschel minder hell, als der innere zunächst an der Theilungslinie war. Dieser war von der Mitte seiner Breite an lichtschwächer und erschien an der innern Kante beinahe von derselben Farbe, wie der dunkle Theil des fünffachen Streifens. Den Beobachtungen zufolge, welche im December 1832 von Schwabe und im April 1833 von Valtz gemacht worden sind[1], scheint der Ring nicht überall die gleiche Dicke zu besitzen, indem er nach dem Verschwinden auf der einen Seite des Planeten weit früher sichtbar war als auf der andern.

Man hatte auf dem Ringe, während er dem Verschwinden nahe war, einzelne Lichtpuncte bemerkt, die man für Erhöhungen am Körper des Ringes selbst halten konnte. Schon Messier[2] hatte solche Puncte, die am Lichtfaden des Ringes wie Perlen angereiht waren, gesehn; ebenso neuerdings Bianchi und Santini in Padua. Messier und Büffon erklärten sie geradezu für Bergspitzen. Herschel, dem die Annahme von Bergen, die auf 200 Millionen Meilen noch sichtbar wären, nicht einleuchten wollte, bemühte sich zu zeigen, daſs diese Puncte wohl nur Trabanten seyn könnten, deren Bahn-Ebene mit derjenigen des Ringes zusammen fiele. Wirklich konnten mehrere solcher Beobachtungen durch diese Annahme erklärt werden. Es blieben jedoch noch mehrere vor-

1 Schum. Astr. Nachr. No. 230. und Bibl. Univ. Avril. 1834.

2 Mém. de Berlin. 1776.

Digitized by Google

züglich helle Puncte übrig, deren Bewegung, wenn sie abgesondert von den übrigen in Rechnung gezogen wurde, einem Körper anzugehören schien, welcher in 10 Stunden 32 M. 15 Sec. um den Saturn lief. Aus der Umlaufszeit lieſs sich nur sein Abstand vom Planeten nach bekannten Regeln berechnen, und da ergab sich, daſs dieser Körper in den Ring selbst fiel, mithin einen Theil desselben ausmache, oder daſs jene Umlaufszeit wirklich diejenige des Ringes selbst sey.

Gegen diese mit groſser Vorsicht, Bescheidenheit und Wahrheitsliebe durchgeführte und durch 300 Rotationen bestätigte Ermittelung einer Umlaufszeit des Ringes erhob sich Schröter im J. 1803, und glaubte aus Beobachtungen, die er bei dem damaligen Verschwinden desselben angestellt hatte, die Behauptung aufstellen zu können, daſs der Ring gar keine Axendrehung habe, sondern in beständiger Ruhe sey. So unwahrscheinlich es war, daſs ein so schmales und hohes Gewölbe ohne alle Schwungkraft sich sollte halten können, so beharrlich widersetzte sich Schröter allen Erklärungen, die dem Resultate seiner Beobachtungen, das er für mathematisch sicher erklärte, eine andere Wendung zu geben drohten. In der Connaiss. des tems. v. J. 1811 suchte Laplace den Streit zu lösen, fand aber in der Voraussetzung, daſs der Ring aus vielen abgesonderten concentrischen Ringen bestehe, die nämliche Umlaufszeit wie Herschel. Seither ist die ganze Angelegenheit liegen geblieben und der Ueberzeugung jedes Einzelnen überlassen worden. Die zunehmende Verbesserung der Fernröhre und der Fleiſs der heutigen Beobachter wird wohl auch diesen Punct — vermuthlich im Sinne Herschel's — zur Entscheidung bringen[1]. Merkwürdig ist die Wahrnehmung von Valtz vom 23. April 1833, daſs nämlich die Ringebene die Saturnsscheibe keineswegs halbirt, sondern daſs die nördliche Halbkugel merklich gröſser erscheint, als die südliche. Der Schwerpunct des Saturnskörpers würde demnach nicht mit dem Mittelpuncte seiner Figur zusammenfallen und die beiden Halbkugeln wären von sehr ungleicher Dichtigkeit. Auch

1 Eine umständliche treffliche Beleuchtung dieses Streites, in welcher mit aller Schonung der Gegner die Vorzüge der Herschel'schen Bestimmung in ihr volles Licht gesetzt werden, findet sich in Brandes Briefen über die vornehmsten Lehren der Astronomie. Th. III. S. 333. u. folgg.

Schwabe hatte im J. 1832 bemerkt, daſs der Ring dem Aequator des Planeten nicht genau parallel war, sondern auf der Ostseite ein wenig nach Norden, auf der Westseite nach Süden sich neigte.

Die Erscheinungen, die dieser erleuchtete Bogen von 1007 geograph. Meilen Höhe auf dem Saturn darbieten muſs, sind allerdings merkwürdig; doch erstrecken sie sich nur auf die heiſse und die gemäſsigte Zone; den Polargegenden bleibt er unter dem Horizonte und wird erst etwa in der Breite von 60° an seinem obern Theile sichtbar. Unter dem 45. Grade tritt auch seine untere Kante um ein Paar Grade über den Horizont hervor, und seine Fläche nimmt daselbst am Himmel einen Bogenstreif ein, der etwa 18 Grade breit ist. Im Solstitium liegt die von der Sonne abgewendete Hemisphäre von 16° der Breite an bis zu 62° im Schatten des Ringes; nach einigen Monaten, wenn die Abweichung der Sonne um etwa einen halben Grad sich vermindert hat, tritt die Sonne über die obere Kante des Ringes, der dort fast ganz unter dem Horizont ist, hervor und von der Polarzone her breitet sich täglich das Sonnenlicht mehr in der gemäſsigten Zone aus. Der Ringschatten wird schmäler und rückt immer mehr dem Aequator zu, bis er nach 14¾ Jahren auf demselben nur eine Schattenlinie bildet, die schwerlich über 50 geographische Meilen Breite hat. Von jetzt an erscheint dieser Halbkugel der Ring beständig von der Sonne erleuchtet, zuweilen in einigen Kreisen der heiſsern Zone mit blendendem Reflex. Selbst nach dem Untergehen und vor dem Aufgange der Sonne bleibt ein Theil des Ringes von der Sonne bestrahlt; nur um Mitternacht ist der gröſsere Theil desselben im Schatten des Hauptkörpers. So werden während des fast 15jährigen Sommers jene Regionen der hellsten Tage, die nur durch eine fünfstündige Nacht unterbrochen werden, genieſsen, während ihre Nächte vom Schimmer des Ringes erleuchtet sind. Auf diese Weise ersetzt eine fast ununterbrochene mehrjährige Helligkeit jene 10- bis 12jährige Nacht, die nur vom wohlthätigen Glanz der sieben Monde gemildert wird. Wenn auch eben dieses siebenfachen Mondenlichts wegen die Thätigkeit der Saturnsbewohner weniger Störung erleidet, als wir bei einer so langen Umnachtung uns denken mögen, so muſs doch die vegetabilische Welt diese dauernde Beraubung des Son-

Digitized by Google

nenlichtes auf eine Weise empfinden, die in ihr Leben eine Modification bringt, von der wir uns keinen Begriff machen können. Nichts zu sagen von dem Unterschiede der Jahreszeiten in Beziehung auf die Temperatur, der, wenn etwa eine dichtere Atmosphäre die Quelle der Wärmeentwickelung seyn sollte, dort nur um so bedeutender seyn muſs.

Woraus besteht nun aber dieses in seiner Art einzige Gebäude eines nahe 600 geographische Meilen (mehr als 3 Millionen Fuſs) breiten und etwa 400000 Fuſs dicken freischwebenden Ringes? So weit unser Auge die Gestalten der Himmelskörper erkennen mag, sind alle kugelförmig gebildet, und selbst unsre Erde, die wir als festen Körper kennen, hat eben diese Form. Sollte der Saturnsring in seiner ganzen anomalen Gestaltung ebenfalls ein fester Körper seyn? Ich glaube es nicht. Vielmehr halte ich ihn für eine durch Centrifugalkraft von dem Planeten losgeschleuderte Wassermasse in dunstförmiger Gestalt, für einen *Wolkenzug*. Nur eine so leicht verschiebliche Masse dieser Art konnte und muſste das Maximum der Abplattung, die Gestalt einer ganz platten durchbrochenen Linse oder einer Scheibe annehmen. Schon das glänzendere, hellere Weiſs in Vergleichung zum Saturnskörper deutet auf eine Verschiedenheit der Stoffe, und kaum dürfte es auſser dem Schnee etwas Helleres geben, als eine von der Sonne beschienene Wolke. Man hat zwar die Schwärze des Ringschattens auf dem Saturn und diejenige des letztern auf dem Ringe als Kennzeichen seiner körperlichen Solidität aufgestellt, allein die nämliche Undurchdringlichkeit für die Lichtstrahlen würde auch bei unserer Annahme statt finden. Vermag doch auf unserer Erde, wo die Intensität des Sonnenlichts fast hundertmal gröſser ist, eine Wolkenschicht von nur 600 bis 1000 Fuſs Dicke die Sonnenstrahlen gröſstentheils aufzuhalten, so daſs sie einen kräftigen Schlagschatten wirft. Wie vielmehr sollte eine wenigstens 400mal dichtere Wolkenwand es zu thun vermögen. Auch die Schatten der Personen in den bekannten Nebelbildern auf hohen Bergen schneiden sich auf der gegenüberstehenden Wolke mit aller Deutlichkeit ab. Unsre Erde zeigt sich uns als ein Conglomerat von gröſsern und kleinern Steinen, vom Sandkorn bis zur Masse des Montblanc oder des Himalaja-Gebirges; wie tief diese wurzeln, wissen wir nicht, nur so viel sehen wir,

daſs auch diese scheinbar unzerbrechlichen Massen durch Kräfte, die noch weit unter den kosmischen stehn, zersprengt, emporgehoben und umgestürzt sind. Mit welchem Schrecken würden wir einen so ungeheuern Bogen aus groſsem und kleinem Gestein über uns aufgethürmt sehn, dessen Einsturz die Zernichtung ganzer Geschlechter zur Folge hätte, und was würde man von der Tenacität eines solchen Gewölbes halten, das aus Stoffen besteht, deren specifische Dichtigkeit nur etwa $\frac{1}{8}$ von derjenigen der Erde ist? Wie auf dem Saturn der Zusammenhang des Wassers, die Eis-, Dampf- und Dunstbildung, zumal in der Luftverdünnung und Temperatur der höhern Regionen beschaffen seyn, welche Gesetze sie befolgen möge, darüber haben wir kaum Vermuthungen; nur so viel wissen wir, daſs die Natur, mit Grundstoffen und Grundformen sparsam, durch geringe Modificationen, Verbindungen und Uebergänge eine unendliche Mannigfaltigkeit von Gebilden zu erschaffen und Bedingungen auszuführen weiſs, deren Erfüllung dem menschlichen Verstande unmöglich erscheint. Dahin gehören namentlich die Temperaturverhältnisse der Planeten in den verschiedenen Tiefen unsers Sonnensystems und die Bedingungen ihrer Bewohnbarkeit durch Thiere und Pflanzen, von ähnlicher physischer Beschaffenheit, wie die unsers Erdballs. Sollten wir also nicht annehmen dürfen, daſs derjenige Stoff, der auf unserm Planeten die Quelle und Bedingung des organischen Lebens ausmacht, das Wasser, auch auf andern Himmelskörpern ebendiese Verrichtung erfülle, und daſs die Natur auch in den kalten Fernen des Saturns mit dem nämlichen Stoffe und nach den gleichen Gesetzen wie auf der Erde thätig sey? Lassen wir den Saturnsring aus Wasserdunst oder Wolken bestehn, so fällt dann auch das Unbegreifliche 100 Meilen hoher Gebirge weg und die oben erörterte Verschiedenheit in den Beobachtungen Herschel's und Schröter's findet in der Beweglichkeit und Veränderlichkeit des Stoffes eine ungezwungene Erklärung. Daſs übrigens auch der verwaschenste Nebel auf die Entfernung von 200 Millionen Meilen als ein scharfbegrenzter Körper erscheinen müsse, bedarf keines besondern Erweises.

H.

Digitized by Google

Sauerstoff.

Oxygen; *Oxygenium;* Oxigène; *Oxygen.*

Scheele's und Priestley's Versuche vorzüglich zeigten, daſs die früher für einfach gehaltene atmosphärische Luft zwei verschiedene Luftarten enthalten müsse, von welcher bloſs die eine zum Unterhalten des Verbrennens und des Lebens der Thiere tauglich sey, und es gelang ihnen, in den Jahren 1774 und 75 diese Luftart für sich, als sogenannte *Lebensluſt*, *Feuerluſt* oder *dephlogistisirte Luft* darzustellen. Lavoisier zeigte, daſs sie gleich allen übrigen wägbaren elastischen Flüssigkeiten aus Wärme und einer wägbaren Grundlage bestehn müsse, welche er, da sie bei ihrer Verbindung mit vielen Stoffen Säure bildet, säureerzeugenden Stoff oder Sauerstoff nannte.

Der Sauerstoff ist das verbreitetste Element; er macht dem Gewichte nach 0,23 der atmosphärischen Luft, 0,89 des Wassers und gegen 0,3 der festen Erde aus, so weit wir sie kennen.

Man erhält das Sauerstoffgas durch Erhitzen des chlorsauren Kali's, des Quecksilberoxyds, des Braunsteins oder des Salpeters für sich, oder des Braunsteins mit Vitriolöl in gläsernen, irdenen oder eisernen Retorten, die mit einer Gasentwickelungsröhre verbunden sind, und Auffangen des Gases über Wasser oder Quecksilber. Es ist farblos, von 1,1092 spec. Gew., geringer lichtbrechender Kraft, geruchlos und geschmacklos.

Es unterhält das Athmen der Thiere und sehr lebhaft das Verbrennen, die bei seiner raschen Compression beobachtete Lichtentwickelung rührt nach Thénard von einer Verbrennung des Fettes her, womit der Stempel eingeschmiert ist. Die stärkste bis jetzt versuchte Compression bewirkte keine Verdichtung des Sauerstoffgases zu einer tropfbaren Flüssigkeit, so daſs wir den von andern wägbaren Stoffen getrennten Sauerstoff bloſs in Gasgestalt kennen.

Kein Element geht so viele, so innige und so wichtige Verbindungen ein, wie der Sauerstoff. Meistens ist jedoch zur Einleitung seiner Verbindung mit andern Stoffen eine höhere Temperatur, als die gewöhnliche, erforderlich. Mit

Digitized by Google

gröſserer Affinität gegen den Sauerstoff begabte Stoffe verbinden sich mit demselben unter lebhafter Feuerentwickelung oder unter der Erscheinung der Verbrennung und sie werden deshalb brennbare Stoffe genannt. Hierbei zeigt sich entweder ein *Glühen*, wenn der verbrennende Körper nicht elastisch flüssig ist, oder eine *Flamme*, wenn er elastisch flüssig ist. Die Flamme ist hellleuchtend, wenn sie fein vertheilte feste Materie enthält, von geringer Leuchtkraft, wenn dieses nicht der Fall ist. Die Farbe der Flamme hängt theils von der Temperatur ab, indem z. B. kaltes Kohlenoxydgas mit blauer, vorher erhitztes mit rothgelber Flamme verbrennt, theils von der Natur der in der Flamme befindlichen Stoffe. Hat man die Verbrennung des Sauerstoffs mit einem brennbaren Körper durch höhere Temperatur oder auf andere Weise eingeleitet, so setzt sich die Verbrennung in dem Falle fort, wenn die sich bei der Verbindung entwickelnde Wärme den brennbaren Körper auf der Temperatur erhält, bei welcher er fähig ist, sich mit dem Sauerstoff zu vereinigen. Je gröſser die Differenz zwischen dieser Temperatur und der der Umgebung ist, je weniger Wärme bei der Verbrennung entwickelt wird, je mehr das Sauerstoffgas verdünnt oder mit fremdartigen, nichts zur Verbrennung beitragenden Gasen gemengt ist, und je mehr durch die Berührung fester oder tropfbar flüssiger Körper Wärme abgeleitet werden kann, desto eher sinkt die Temperatur des verbrennenden Körpers unter den Verbrennungspunct und die Verbrennung hört auf.

Die Verbindung des brennbaren Körpers mit Sauerstoff, der *verbrannte Körper*, wiegt genau so viel, wie der verschwundene brennbare Körper und der Sauerstoff zusammen. Die bei der Verbrennung frei werdende Wärme läſst sich nicht aus der geringeren Wärmecapacität der neuen Verbindung erklären; denn die Capacität mehrerer unter starker Feuerentwickelung erzeugten Verbindungen, z. B. des Wassers, ist gröſser, als die durch Rechnung gefundene mittlere Capacität ihrer Bestandtheile. Auch die Flüssigkeitswärme des Sauerstoffgases, welche bei der Verbindung des Sauerstoffs mit den brennbaren Stoffen frei wird, genügt nicht zur Erklärung; denn der im Salpeter enthaltene Sauerstoff ist nicht gasförmig und erzeugt doch viel Feuer bei seiner Verbindung mit Kohle, wiewohl hierbei gerade ein Gas erzeugt und also Flüssigkeitswärme latent ge-

Digitized by Google

macht wird. Man muſs deshalb entweder annehmen, daſs Sauerstoff oder brennbare Stoffe oder beide zugleich eine bedeutende Menge Wärme innig gebunden enthalten, ohne daſs diese einen flüssigen Zustand hervorbringen, und dieselbe frei werden lassen, wenn sie durch Verbindung mit einander ihre Affinität gegen wägbare Stoffe befriedigt haben, oder nach der elektrochemischen Ansicht, daſs der Sauerstoff viel positive (oder negative) und der brennbare Körper viel negative (oder positive) Elektricität gebunden enthalte, welche beiden Elektricitäten sich bei der Verbindung des Sauerstoffs mit einem brennbaren Körper ebenfalls und zwar zu Licht und Wärme vereinigen.

Man theilt die Verbindungen des Sauerstoffs mit den übrigen Stoffen in *saure* und *nicht saure*. Die sauren sind die *Sauerstoffsäuren*, z. B. Kohlensäure, Schwefelsäure, Salpetersäure, Phosphorsäure und Arseniksäure. Die nicht sauren Verbindungen des Sauerstoffs, die *Oxyde*, verhalten sich entweder als Salzbasen, oder sie enthalten zu wenig Sauerstoff, um einen sauren oder basischen Charakter zu zeigen, *Suboxyde*, oder sie enthalten zu viel Sauerstoff, um als Salzbasen auftreten zu können, *Hyperoxyde*, und endlich gehört zu ihnen auch das *Wasser*.

G.

Schall.

Sonus; Son; *Sound.*

Wenn man den Ausdruck in gröſster Allgemeinheit nimmt, so bezeichnet das Wort *Schall* alles Hörbare. Keine andere Sprache ist rücksichtlich der hierzu gehörigen Gegenstände so reich und so bestimmt, als die deutsche, und namentlich klagt Chladni[1] über die Schwierigkeiten, welche die französische einer scharfen Bestimmung der Begriffe entgegenstellt. Nach dem gehörig geregelten Sprachgebrauche heiſst Schall im Allgemeinen alles Hörbare und faſst als allgemeiner Ausdruck alles hierzu Gehörige in sich, wobei die Unterscheidungen des Einzelnen nicht willkürlich angenommen, sondern der Natur der Sache nach festgesetzt sind. Ist nämlich der Schall nicht gleichmäſsig bleibend, sondern regellos wechselnd, so

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. S. 7.

heiſst er ein *Geräusch*, bei gröſserer Heftigkeit ein *Getöse*, bei groſser Stärke und schnellem Vorübergehn ein *Knall*; ist der Schall dagegen regelmäſsig, gleichartig und bestimmt, so nennt man ihn *Ton*, welcher zwar bis zu einer gewissen Grenze unrein oder schwankend seyn kann, über diese hinaus aber in ein Geräusch übergeht. Nicht allezeit wird Ton und Klang hinlänglich bestimmt unterschieden, ja man darf sagen, daſs der Sprachgebrauch über die eigentliche Bedeutung beider Worte noch nicht mit genügender Schärfe und der erforderlichen Allgemeinheit entschieden hat; denn selbst Chladni[1] unterscheidet zwischen Geräusch und Klang, beide zum Schalle gehörig, wovon letzterer durch solche Schwingungen erzeugt werden soll, die gleichartig und bestimmbar sind, ersteres aber durch solche, die es nicht sind; ein Ton aber soll es dann heiſsen, wenn man bei einem Klange bloſs auf die Geschwindigkeit der zitternden Bewegung, nicht aber auf die Eigenschaften und Gestaltveränderungen des klingenden Körpers Rücksicht nimmt. Allein dann fehlte uns ein Wort zur Bezeichnung der Eigenthümlichkeit der verschiedenen Töne, indem diese, rücksichtlich der Höhe und Stärke einander gleich, dennoch unterscheidbar sind, z. B. der nämliche Ton einer Geige, des Horns, der menschlichen Stimme u. s. w. Was also den Unterschied der verschiedenen gleich hohen Töne bedingt, nennen wir ihren *Klang*, wie aus dem bestehenden Sprachgebrauche folgt, indem man sagt, der Ton der Flöte klinge anders, als der eines Forte-Piano, und auch Chladni sagt, hiermit übereinstimmend, es heiſse: das Instrument hat einen guten Klang, nicht aber: einen guten Ton, und ebenso sage man: ein hoher Ton, nicht aber ein hoher Klang[2].

1 Die Akustik, bearbeitet von Ernst Florens Friedrich Chladni u. s. w. Leipz. 1802. 4. Die französische Umarbeitung oder Uebersetzung dieses Werkes heiſst: Traité d'Acoustique par E. F. F. Chladni cet. Par. 1809. 8. Diese beiden classischen Werke werden von mir schlechthin unter dem Namen Akustik und Acoustique angeführt, auch beziehe ich mich stets auf das erstere, wenn ich Chladni ohne Bezeichnung der Quelle nenne. In der Akustik S. 3. befinden sich die erwähnten Wortbestimmungen, mit Nachweisungen auf andere Autoritäten. Vergl. Neue Beiträge zur Akustik von E. F. F. Chladni. Leipz. 1817. 4. S. 57.

2 Nach Chladni neue Beiträge S. 57. hat die französische Sprache den Vorzug, die Eigenthümlichkeit der Töne durch *timbre* zu

Worauf aber diese Eigenthümlichkeit der Töne, die wir durch *Klang* bezeichnen, beruhe, wird in der Folge erläutert werden.

Diejenige wissenschaftliche Disciplin, welche alles, was sich auf den Schall bezieht, untersucht, heiſst die *Schalllehre*, ein nicht gebräuchlicher Ausdruck; gangbarer dagegen ist der aus dem griechischen Worte *ἀκούειν*, hören, entnommene *Akustik*, lateinisch *Acustica* (näml. ars oder die bloſse Umbildung des griechischen Wortes in *acustice*), französisch *Acoustique*, englisch *Acustics*. Jeder dieser Ausdrücke ist geeignet, die Untersuchung alles desjenigen daran zu knüpfen, was sich auf den Schall bezieht. Alles was hierzu gehört, kann füglich in drei Abschnitte vertheilt werden, wovon der erstere über Hervorbringung, der zweite über die Fortpflanzung und der dritte über die Wahrnehmung des Schalles vermittelst der Gehörwerkzeuge handelt.

1. Entstehung des Schalles.

1) Schon Aristoteles[1] hatte sehr richtige Begriffe über den Ursprung und die Fortpflanzung des Schalles, die er beide als eine Folge gewisser *Schwingungen* ansah. Letztere nannte man später im Allgemeinen Bebungen, ohne deren eigentliche Beschaffenheit näher zu untersuchen, indem der Augenschein solche bei einer groſsen Menge schallender Körper nachwies. Als man später die Sache genauer untersuchte, glaubte man das eigentliche Wesen in ein *Erzittern der kleinsten Theile* setzen zu müssen, weil es überhaupt Tendenz des Zeitalters war, die Erscheinungen auf das Verhalten der kleinsten Theile zurückzuführen, die man jedoch niemals genau kennen zu lernen vermochte. Diese Erklärung gaben insbesondere Perrault[2], Carré und de la Hire[3], wobei letz-

---

bezeichnen. Allerdings hat dieses Wort die angegebene Bedeutung, allein nicht so bestimmt und ausschlieſslich, als sie für das deutsche Wort Klang angenommen werden kann, indem es zugleich noch eine Glocke und eigentlich die Reinheit der Stimmung bezeichnet. Die Engländer bedienen sich des Ausdrucks *Quality*, dessen Bedeutung sie aber erst dann bestimmen.

1 Fragm. de Audib. T. I. p. 735. ed. 1590. Vergl. Bibl. univ. XVIII. 334.

2 Mém. de Paris. T. I. p. 145.

3 Ebend. 1704. Hist. p. 83. 1716. p. 262.

Digitized by Google

terer sich auf den Versuch berief, daſs eine Ofengabel, wenn man ihre Schenkel zusammendrückt und wieder auseinander schnellen läſst, nicht tönt und nur dann einen Ton giebt, wenn sie einen harten Körper berührt, eine zwar richtige, aber auf eine ganz andere Weise zu deutende Erfahrung. Auch Musschenbroek [1] trat dieser Ansicht bei, und seiner mit Recht groſsen Autorität folgten lange nachher die meisten Physiker, so daſs selbst dann noch, als unlängst die richtigern Ansichten bekannt gemacht waren, von einem solchen Zittern geredet wurde. So machte unter andern Voigt [2] die Erscheinung bekannt, daſs aus der Oberfläche des Wassers in einem Glase, dessen Rand mit einem nassen Finger gestrichen wird, kleine Undulationen nach Art eines ausgebreiteten Milchflors sich zeigen, was er als eine Folge der Bebungen kleiner Theile ansieht; ein Versuch, welchen übrigens schon Galilei [3] erwähnt. Unterdeſs wurde die richtige Ansicht, wonach der Schall durch pendelartige Schwingungen erzeugt wird, von den gröſsten Geometern genügend erwiesen. Wenn man als ausgemacht ansehn darf, daſs diejenigen Wellen, wodurch der Schall erzeugt wird, von jenen nicht wesentlich verschieden sind, die seine Fortpflanzung bedingen, so ist Newton der erste, welcher hierüber die richtigen Ansichten begründete; nachher haben sich Sauveur, Johann Bernoulli, Jacob Bernoulli, Daniel Bernoulli, Riccati und insbesondere L. Euler um diesen Zweig der mathematischen Physik Verdienste erworben. Chladni hat das Ganze zuerst zu einem vollständigen Systeme geordnet, welchem später durch die gehaltreichen Bemühungen von Poisson, Savart, Thom. Young, den Gebrüdern Weber und andern gelehrte wesentliche Erweiterungen zu Theil geworden sind. Die neueste Zusammenstellung des Ganzen in einer wissenschaftlichen Anordnung verdanken wir den Bemühungen des jüngeren Herschel [4]. Die Verdienste dieser und anderer Gelehrten wer-

---

1 Introduct. T. II. p. 2191. in motu tremulo partium minimarum.

2 Magazin für das Neueste aus d. Physik. Bd. VII. St. 1. S. 46.

3 In seinen Dialogen über Mechanik; nach Gehler a. A. Bd. III. S. 804.

4 Seine schätzbare Darstellung der Schalllehre (*Sound*) findet sich in der Encyclopädia metropolitana cet. Mixed Sciences. T. II.

Digitized by Google

den in der Folge bei den einzelnen Untersuchungen näher bezeichnet werden.

2) Zur Entstehung eines Schalles ist erforderlich, daſs irgend ein bewegter Körper gegen einen andern stoſse und dadurch einen Impuls erzeuge, welcher durch ihn selbst oder nach geschehner Mittheilung an einen andern ohne zu groſse Schwächung seiner Stärke oder gänzliche Unterbrechung durch einen leeren Raum bis zu den Gehörwerkzeugen fortgepflanzt werde. Die Art des erzeugten Schalles wird dann durch die Eigenthümlichkeiten der genannten Stöſse bedingt. Die Schalllehre kann daher keineswegs, wie früher zu geschehn pflegte, den Untersuchungen über das Verhalten der Luft angereihet werden, sondern gehört nach Chladni zu den Bewegungsgesetzen, obgleich bei ihr bloſs gewisse eigenthümliche Bewegungen zur Untersuchung kommen. Eine bloſse Bewegung, sey es eines festen oder flüssigen Körpers bringt keinen Schall hervor, wie man daraus ersieht, daſs die in einem Rohre bewegte Luft, wenn auch ihre Strömung weit schneller ist, als bei einem wirklich erzeugten Tone, dennoch nicht hörbar ist, ebenso wie eine noch so schnell fliegende Kugel, indem das Pfeifen und Schwirren der letztern bloſs durch die Stöſse erzeugt wird, die sie bei ihrer Bewegung der Luftschichten oder die diese durch den erhaltenen Impuls sich einander mittheilen. Es muſs daher jederzeit ein Stoſs oder eine gewisse Anzahl Stöſse vorhanden seyn, wenn ein Schall entstehn soll.

3) Wenn zwei Körper gegeneinander stoſsen, so kann unter der Voraussetzung, daſs sie vollkommen hart sind, nichts anderes statt finden, als eine gemeinschaftliche Bewegung beider, oder Ruhe, wenn beider Bewegungsmomente einander gleich und entgegengesetzt sind oder die Masse des gestoſsenen unendlich groſs ist; weder die Bewegung an sich, noch vielweniger die Ruhe kann jedoch einen Schall hervorbringen und dieser daher durch einen bloſsen Stoſs nicht entstehn. Indeſs giebt es keinen absolut harten Körper, alle sind vielmehr in einem verschiedenen Grade mehr oder minder elastisch, ihre Theile kommen daher in eine Art von Oscillation,

---

Lond. 1830. Diese von mir im gegenwärtigen Artikel vielfach benutzte Abhandlung wird allezeit verstanden, wenn ich ohne Weiteres ihren Verfasser als Autorität nenne.

Digitized by Google

wodurch zwar ein Schall, aber wegen mangelnder Regelmäſsigkeit kein Ton, sondern nur ein Knall, ein Geräusch oder bei öfterer regelloser Wiederkehr ein Getöse erzeugt wird. Alle Körper ohne Unterschied sind daher fähig, ein solches Geräusch hervorzubringen, dessen Stärke der Heftigkeit des Zusammenstoſsens proportional ist; es wird daher wahrgenommen beim Schlagen mit einem Hammer gegen einen Stein oder irgend einen sonstigen Körper, beim Zusammenstoſsen zweier Bleikugeln, beim Schlagen mit einer flachen Degenklinge auf die Fläche des Wassers, beim Zusammentreffen zweier Wassermassen im Wasserhammer, beim plötzlichen Eindringen der Luft in ein Vacuum oder einen mit verdünnter Luft erfüllten Raum, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, dem Zerplatzen einer gedruckten Thierblase, beim Durchschneiden der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, bei den Explosionen des Geschützes, beim Donner und in zahllosen andern Fällen. Ein solcher Knall kann oft und in ungleich langen Zeitintervallen wiederkehren, indem er entweder jedesmal neu erzeugt oder von geeigneten Körpern reflectirt wird, wie ersteres namentlich beim wiederholten Schlagen mit einem Hammer, letzteres beim Getöse des Donners vorkommt, allezeit aber wird es bloſs ein Geräusch seyn, welches dadurch entsteht, daſs derselbe Knall sich selbst gleich oder von wechselnder Stärke wiederholt wird.

Inzwischen fängt ein solches Geräusch an in einen Ton überzugehn, sobald jeder Knall so schnell erfolgt, daſs das Ohr kein dazwischen liegendes Zeitintervall mehr zu unterscheiden vermag. Wenn z. B. der Zahn einer Säge gegen einen Nagel stöſst, so erzeugt dieses ein Geräusch, sobald aber bei schnell bewegter Säge die Zähne in sehr kleinen Zeitintervallen den Nagel treffen, so nähert sich dasselbe einem Tone. Hält man einen Stab gegen die Zähne eines schnell umlaufenden Rades, so tritt der Uebergang zu einem Tone dann ein, wenn das Schlagen jedes einzelnen Zahnes gegen den Stab unterscheidbar zu seyn aufhört. Auf gleiche Weise haben manche im Donner einen Ton wahrnehmen wollen, welcher nur durch die wiederholten Reflexionen des ursprünglichen Knalles von zurückwerfenden Körpern erzeugt werden könnte, und etwas ähnliches zeigt sich bei vorzüglich schönen

Digitized by Google

Echo's in Bergen und Wäldern nach den Explosionen der Schieſsgewehre.

4) Aus allem diesen ergiebt sich also, daſs einzelne Pulsus[1], die einander nahe genug liegen, einen Ton erzeugen. Wissenschaftlich ist dieses, nämlich daſs bloſse Pulsus einen Ton und zwar einen desto höhern erzeugen, je mehr ihre Menge in einem gegebenen Zeitintervalle zunimmt, durch die *Sirene*[2] dargethan, bei welcher der Strom irgend einer elastischen oder tropfbaren Flüssigkeit in einem schnellen und zugleich regelmäſsigen Wechsel unterbrochen wird, woraus zugleich hervorgeht, daſs eine schnelle und der Zeit nach regelmäſsige Folge und Gleichartigkeit dieser Pulsus nothwendige Bedingungen der Töne sind, deren Höhe zugleich von der Menge derselben abhängt. Ohne dieses Instrument gelangt man indeſs auf einfache Weise zu dem nämlichen Resultate. Wenn man nämlich mit einem harten Körper langsam über einen andern rauhen oder mit Furchen versehenen, z. B. mit einem Schlüssel über ein mit harten Fibern versehenes Bret hinfährt, so wird man bei jedem Stoſse gegen eine einzelne Erhabenheit ein Getöse, ein Geräusch hören, so lange jeder Stoſs einzeln unterscheidbar ist, es zeigt sich aber ein Uebergang zum Tone, sobald die Pulsus einander so nahe kommen, daſs die Wahrnehmung jedes einzelnen verschwindet; dieses findet statt bei schnellerer Bewegung des gegen die Rauheiten stoſsenden Körpers, und mit dieser zunehmenden Geschwindigkeit wächst die Deutlichkeit und zugleich die Höhe des erzeugten Tones. Aus diesem nämlichen Grunde entsteht nicht bloſs ein ganz eigentlich bestimmter, sondern auch zugleich ein starker und wegen seiner Höhe und Schärfe unangenehmer Ton, wenn Flächen, insbesondere metallene, mit einem scharfen Stahlbleche geschabt werden, wobei dann die eigentlich wirksamen Erhabenheiten wegen ungleicher Härte des Materials bald auffallend wahrnehmbar zum Vorschein kommen. Auf einem ähnlichen Verhalten beruhen die unangenehmen pfeifenden, auch schneidend genannten Töne beim

---

1 Das Wort, Stoſs, würde diese Sache bezeichnen, indeſs hat dasselbe in der Akustik bereits eine andere Bedeutung, wie sich unten zeigen wird.

2 Sie wird weiter unten beschrieben werden.

Digitized by Google

Hingleiten eines Messers oder einer Gabel über der Fläche eines porzellanenen Tellers, eines Rechenstiftes auf einer Schiefertafel, das sogenannte Pfeifen oder Schreien (Quiken, Quiksen) nicht geschmierter Zapfen oder sonstiger geriebener Maschinentheile, das pfeifende Geräusch, welches bei dem durch Clement und Hachette beschriebenen pneumatischen Versuche[1] zum Vorschein kommt, und andere Töne gleichen Ursprungs. Savart[2] hat die Töne, welche bei Clement's Versuchen gehört werden, ausführlich untersucht, und ist dadurch zu dem Resultate gelangt, daſs sie nicht von den Stöſsen der Scheiben gegen die Oeffnungen, also nicht von einfachen Pulsationen, wie die bei der Sirene, sondern von transversalen Schwingungen derselben, wie die bei den Chladni'schen gestrichenen Scheiben, herrühren. Einen Hauptbeweis, welchen er unter mehrern zur Unterstützung dieser Hypothese anführt, findet er darin, daſs die von gleich dicken, aber ungleich groſsen Scheiben entstehenden Töne den Durchmessern derselben umgekehrt proportional sind. Es würde zu weit führen, alle einzelne Argumente hier zu prüfen, allein hauptsächlich streitet gegen diese Ansicht der Umstand, daſs die Scheiben auf ihre Unterlage abwechselnd aufschlagen, wodurch ihre Schwingungen gehindert und die Töne unterbrochen werden müſsten. Auſserdem lassen sich die Töne auch mit Papierscheiben durch Blasen mit dem Munde erzeugen, wobei sie allmälig feuchter werden und demnach eine veränderte Elasticität erhalten, mithin auch einen andern Ton geben müſsten, wenn man sie überhaupt bei fast gänzlicher Abwesenheit aller Spannung für elastisch genug zur Annahme der erforderlichen Schwingungen halten will, was mir auf jeden Fall nicht glaublich scheint. Hiernach und aus den Gründen, die mir aus zahlreichen Beobachtungen der auf diese Weise erzeugten Töne zu folgen scheinen, bin ich geneigt, sie bloſs für das Resultat der einzelnen schnellen Stöſse zu halten, die beim stets wiederholten Aufschlagen der Scheiben statt finden, und sie also neben die durch die *Sirene* erzeugten zu reihen. Diesen ähnlich ist das Pfeifen oder Summen der Geschützkugeln, wenn sie durch die Luft fliegen, welches

1 Vergl. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 680.
2 Ann. Chim. Phys. XXXV. p. 53.

Digitized by Google

nach der Ansicht von W. Herschel[1] dadurch erzeugt wird, daſs die mit zahlreichen Unebenheiten versehene Kugel bei ihren schnellen Drehungen Partikeln der Luft in schnellen und regelmäſsigen Wechseln gewaltsam fortstöſst. Die Höhe des Tones hängt also hauptsächlich von der Geschwindigkeit ihrer Bewegung ab, wonach die Stöſse regelmäſsiger erfolgen und wobei zu berücksichtigen, daſs die Luft an den verschiedenen Theilen der Kugel von ungleicher Dichtigkeit ist.

5) Vergleichen wir die hier gefundenen Resultate mit den Erscheinungen, die wir bei andern tönenden Körpern wahrnehmen, so gelangen wir bald zu der Ueberzeugung, daſs ähnliche Pulsus bei ihnen insgesammt die Entstehung der Töne bedingen. Die Betrachtung einer tönenden Saite, eines fest eingeklemmten Stabes, der Schenkel einer mit ihrem Stiele festgestellten angeschlagenen Stimmgabel u. s. w. zeigt nämlich, daſs auch diese Körper insgesammt oscilliren, indem die durch diese Schwingungen erzeugten Stöſse berührenden Körpern mitgetheilt werden und auf diese Weise zum Gehöre gelangen. Dabei zeigt schon der bloſse Anblick ohne eigentliche Messung, daſs die Höhe der erzeugten Töne mit der Schnelligkeit dieser Oscillationen wächst. Forschen wir aber nach der Ursache, weswegen diese Töne für das Ohr nicht so unangenehm sind, als die oben genannten, so ergiebt sich bald, daſs die den Ton bedingenden Pulsus bei jenen scharfen Tönen als einzelne Stöſse, bei diesen angenehmeren aber als pendelartige Schwingungen mit einem allmäligen Uebergange aus der Ruhe zum Maximum der Geschwindigkeit und wieder zur Ruhe bestehn. Diese Ueberzeugung wird dadurch noch mehr begründet, wenn wir wahrnehmen, daſs diejenigen Körper, welche rücksichtlich ihrer Masse, ihrer Dicke und ihrer Spannung am meisten gleichmäſsig sind, auch die angenehmsten Töne erzeugen. Die klarste Vorstellung des Verhaltens der Körper bei der Erzeugung des Schalles gewährt aber der Anblick einer gespannten Saite, wenn man sie in der Mitte aus ihrer geraden Richtung zieht, dann zurückschnellen und oscilliren läſst, so daſs ein etwas tiefer, aber wohlklingender und hinlänglich starker Ton entsteht. Hierbei sieht man deutlich, daſs die Saite an beiden Enden auf den

1 Encyclop. metrop. Art. Sound. p. 778.

sie stützenden Stegen ruhet, in ihrer Mitte aber pendelartig schwingend Bogen durchläuft, so daſs man sie als zwei gleiche, in der Mitte vereinte Pendel betrachten kann, bei denen die Spannung statt der Schwere wirkt und diesemnach zwei Aufhängepuncte und ein gemeinschaftliches Centrum Oscillationis anzunehmen sind. Ein ähnliches Verhalten zeigen alle schallende Körper, wenn auch minder deutlich, man führt daher mit Recht den Ursprung der Töne insgesammt auf pendelartige Schwingungen zurück, wobei man die Ruhepuncte mit dem Namen *Schwingungsknoten*, die vibrirenden Theile durch *Schwingungsbogen* bezeichnet, und hiernach den ganzen Proceſs einer geometrischen Construction unterwirft. Die erste Hauptaufgabe der Akustik ist daher, das Verhalten der verschiedenen Körper rücksichtlich dieser die Töne erzeugenden Schwingungen zu untersuchen, die man wegen ihrer Aehnlichkeit mit den Wellen auch *Schallwellen* genannt hat.

6) Eine nothwendige Bedingung zur Erzeugung des Schalles ist ein gewisser höherer Grad der Elasticität der Körper, wenn sie überhaupt zum Tönen geeignet seyn sollen, weil ein geringes Maſs dieser Eigenschaft nicht hinreicht, damit hinlänglich schnelle, in genügender Menge sich wiederholende und den erforderlichen Raum durchlaufende Oscillationen der tönenden Körper statt finden, indem vielmehr die Körper im gleichen Verhältnisse ihrer Elasticität zur Erzeugung eines Tones geeignet sind. Die sehr weichen und biegsamen Metalle, als reines Gold und Blei, ebenso wie alle durch Feuchtigkeit sehr erweichte Substanzen, eignen sich daher nicht zur Hervorbringung eines Tones, und wenn dennoch ein Ton zum Vorschein kommt, so ist er auf jeden Fall nur dumpf und unklar, nicht hell und klingend, obgleich alle diese Körper in ähnliche Oscillationen versetzt werden können, wenn sie mit andern schwingenden in Verbindung sind, wie später gezeigt werden wird, weswegen sie den Schall fortzuleiten, aber nicht selbst zu erzeugen vermögen. Alle tropfbare Flüssigkeiten sind insofern wenig elastisch, als sie der zusammendrückenden Kraft mit einer auſserdentlichen Gewalt widerstehn; es scheint dann ferner, daſs sie nicht schnell nach aufhörendem Drucke zu ihrem ursprünglichen Volumen wieder zurückkehren, welches ohnehin durch ihren eigenthümlichen Aggregatzustand gehindert wird; auf jeden Fall können

sie nicht füglich in Folge des Trägheitsgesetzes nach der Compression zur Vergröſserung ihres Volumens und dann wieder zur Verminderung desselben übergehn, oder mit einem Worte, sie können nicht in dem erforderlichen Grade oscilliren und daher auch insgesammt keinen Ton erzeugen. Die Untersuchungen über die Schallschwingungen beziehn sich daher bloſs auf feste Körper und die sogenannten elastischen Flüssigkeiten.

A. Erzeugung der Töne durch feste elastische Körper.

7) Worin das Wesen der *Elasticität* fester Körper bestehe, ist so weit, als wir dieses bis jetzt zu beurtheilen vermögen, bereits an einem andern Orte [1] untersucht worden; seitdem aber sind noch einige schätzbare Abhandlungen über diesen Gegenstand im Allgemeinen und ohne ausschlieſsliche Beziehung auf die Erzeugung des Schalles bekannt geworden, die hier gelegentlich erwähnt zu werden verdienen. Navier [2] stellt das Axiom auf, daſs die Erscheinungen der Elasticität auf einer Veränderung der Lage der Molecülen beruhen. Letztere befinden sich nämlich bei sich selbst überlassenen Körpern im Zustande der Ruhe vermöge des Gleichgewichts der beiden gemeinschaftlich auf sie einwirkenden Kräfte, der Attraction und der Repulsion, die er nach der bekannten Ansicht von La Place als eine Folge der Wärme betrachtet. Kommt alsdann eine äuſsere Kraft hinzu, die den Körper auszudehnen oder zusammenzudrücken strebt und welche also die eine der beiden Kräfte unterstützt, während sie der andern entgegenstrebt, so treten Veränderungen in der Lage der Molecülen ein, wofür er die analytischen Ausdrücke durch Differenzialgleichungen sucht. Ungleich vollständiger und in näherer Beziehung zur Schalllehre stehend ist eine gehaltreiche Abhandlung von Poisson [3]. Sie schlieſst sich an die bekannten Arbeiten der früheren berühmten Geometer über diese Probleme an und ist vorzüglich wichtig rücksichtlich der zur Lösung

1 S. Art. *Elasticität*. Bd. III. S. 167.

2 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VII. p. 375.

3 Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques. Ebend. T. VIII. p. 357.

Digitized by Google

dieser Aufgaben angewandten analytischen Hülfsmittel. Inzwischen werden die hier zu beobachtenden Grenzen mir nicht gestatten, auch nur den wesentlichen Inhalt derselben anzugeben, und ich muſs mich daher begnügen, auch diese unter den classischen Arbeiten über diesen Gegenstand bloſs im Allgemeinen zu benutzen.

8) Die festen oder starren Körper äuſsern ihre Elasticität durch Ausdehnungen und Zusammenziehungen nach ihrer Länge, durch Oscillationen in der Ebene ihrer Axe, wenn sie durch irgend eine mechanische Gewalt aus ihrer Ruhe in dieser Lage gebracht werden, und durch zurückgehende Schwingungen, wenn sie gedreht sind. Nach dieser Eintheilung ist ihre Elasticität am gehörigen Orte untersucht worden und es ist interessant, thatsächlich nachzuweisen, daſs durch alle drei Arten auch Töne erzeugt werden. Hiernach lassen sich bei ihnen also *longitudinale*, *transversale* und *drehende* Schallschwingungen uuterscheiden, von denen jedoch die transversalen bei weitem die häufigsten sind, während von den longitudinalen bloſs bei einigen musikalischen Instrumenten Gebrauch gemacht wird, die drehenden aber schwerlich anders als bei akustischen Demonstrationen vorkommen. Chladni[1] theilt hinsichtlich der Schallschwingungen die sämmtlichen festen Körper ein in solche, die durch Spannung, und solche, die durch innere Steifheit elastisch sind, beide der Gestalt nach fadenförmig oder membranenförmig, wovon die durch Spannung elastischen fadenförmigen transversale und longitudinale Schwingungen zeigen, wozu bei den durch innere Steifheit elastischen fadenförmigen, wenn sie gerade sind, noch die drehenden kommen, die bei den gekrümmten, als den Triangeln, Ringen, Gabeln u. s. w., sicher wegfallen; ob aber bei diesen auch longitudinale vorkommen, wird zwar nicht angegeben, scheint mir aber wahrscheinlich, ebenso wie bei den membranenförmigen, die entweder gerade sind, als Scheiben, oder gekrümmt, als Glocken u. s. w. Die genannten drei Arten von Schwingungen sind bei den verschiedenen Körpern einander sehr ähnlich und können also einen Eintheilungsgrund der folgenden Untersuchungen abgeben, wobei jedoch die transversalen bei weitem die gröſste Abtheilung bilden, und auſser-

1 Neue Beiträge S. 61.

Digitized by Google

dem läſst sich in vielen Fällen nicht einmal genau bestimmen, ob ein Ton bloſs durch diese oder gleichzeitig auch durch mitwirkende longitudinale erzeugt wird.

a) Schwingende Saiten.

9) Wenn eine Saite, ein fadenförmiger Körper von willkürlicher Substanz, bei welchem jedoch für diese Untersuchung angenommen wird, daſs er seine Elasticität nicht durch innere Steifheit, sondern durch eine anderweitige spannende Kraft erhalten habe, an beiden Enden befestigt worden ist und durch irgend eine Ursache aus der angenommenen Lage gebracht wird, so kehrt er nach dem Aufhören dieser Einwirkung in seine frühere Lage wieder zurück, indem er wellenartige Bewegungen macht, die rücksichtlich ihrer Gestalt und Geschwindigkeit durch die bedingenden Umstände mannigfaltig modificirt sind. Von den vielen Untersuchungen, welche die Gebrüder Weber[1] über die Art und die Gesetze dieser Wellen mitgetheilt haben, führe ich hier nur folgende zur Erläuterung dienende Erfahrungen an. Zieht man eine mäſsig ge-
Fig. spannte weiſse Schnur, die in den Puncten A und B an Wir-
27. beln befestigt ist oder noch besser auf geeigneten Stegen ruht, aus ihrer Lage, indem man sie in der Mitte bei *a* anfaſst, und läſst man sie dann zurückschnellen, so kann man ihre Vibrationen wahrnehmen. Sie zeigt sich nämlich in A und B einfach, von beiden Puncten an aber gespalten, indem in der Mitte ein halbdurchsichtiger, von zwei weiſsen Streifen begrenzter Raum zum Vorschein kommt, der allmälig schmäler wird, während die Begrenzungen sich einander nähern und zuletzt zur einfachen, endlich ruhenden Schnur übergehn. Hierbei wird der unvollkommen durchsichtige Raum durch die ihn durchlaufende Schnur gebildet, deren Bewegung zu schnell ist, als daſs sie deutlich gesehn werden könnte, die dagegen am Rande zur Ruhe kommt, zurückkehrt und demnach länger verweilend sichtbar wird. Zieht man dagegen

---

1 Wellenlehre auf Experimente gegründet oder über die Wellen tropfbarer Flüssigkeiten mit Anwendung auf die Schall- und Lichtwellen. Von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipz. 1825. 8. S. 439. Dieses classische Werk wird von mir unter der einfachen Bezeichnung *Wellenlehre* häufig citirt werden.

Digitized by Google

die nämliche Schnur A B an der Stelle b bis b″ herabwärts Fig. 28.
und läſst sie dann schwingen, so sieht man B c als eine weiſse Linie, die gegen die Mitte hin undeutlicher wird; über ihr ist aber ein halbdurchsichtiger Raum, welcher oberhalb in der Richtung B c′ von einer schwachen undurchsichtigen Linie begrenzt ist, von A aus aber liegt die starke undurchsichtige weiſse Linie oben, der halbdurchsichtige Raum aber unter ihr. Es liegt also zwischen den beiden Schwingungsknoten nur eine Wellenbreite, allein der Gipfel derselben läuft bei jeder Schwingung von A bis B, und kehrt bei jedem Anprallen an einen derselben um, wobei es nach Weber merkwürdig ist, daſs der einzelne Punct die groſse Excursion c c′ in der nämlichen Zeit als die kleine c c″ vollendet. Beide auf diese verschiedene Weise erzeugte Töne sind daher der Höhe nach einander gleich, hinsichtlich des Klanges aber verschieden. Es ist diesemnach in Beziehung auf den zu erzeugenden Ton keineswegs gleichgültig, an welcher Stelle eine unveränderlich gespannte und also isochronisch schwingende Saite in Schwingungen gesetzt wird, was bei der Führung des Violinbogens in Betrachtung kommt, auch pflegen die Verfertiger von Forte-Piano's diejenige Stelle für das Anschlagen der Hämmer zu wählen, von welcher sie den reinsten und angenehmsten Klang erwarten, abgesehn davon, daſs bekanntlich der Anschlag der verschiedenen Spieler auf dem nämlichen Instrumente rücksichtlich der Annehmlichkeit der erzeugten Töne so verschieden ist.

10) Ist es gleich am einfachsten, anzunehmen, daſs eine gespannte Saite zwischen den beiden festen Endpuncten nur eine einfache Schwingung mache (oder daſs zwischen den beiden Schwingungsknoten A und B nur eine Wellenlänge liege), so geht doch aus der Theorie schon von selbst eine mehrfache Abtheilung, insbesondere langer Saiten, hervor. Hierunter gehört aber das Verfahren nicht, wonach namentlich bei den Bogeninstrumenten die Saite mit dem Finger gegen das Griffbret gedrückt wird, weil dann allezeit der Steg und die niedergedrückte Stelle die beiden Knoten abgeben, zwischen denen die Saite schwingt, weswegen es eine Hauptregel des Spielens ist, mit dem Finger möglichst fest aufzudrücken, damit der tönende Theil der Saite scharf bestimmt und der Ton von hinlänglicher Reinheit und angenehmem Klange erhalten

werde. Hiervon abgesehn ist klar, daſs bei bestimmten Ruhepuncten A B einer Saite noch ein Schwingungsknoten in a, Fig. 29. oder zwei in a' und a' oder drei in a'', a^{o} und a'' liegen, oder allgemein, daſs die Saite zwischen ihren beiden festen Endpuncten durch n Schwingungsknoten abgetheilt seyn könnte und dann $n+1$ einzelne schwingende Abtheilungen haben müſste. Soll in diesem Falle die Saite tönen, so müssen alle Abtheilungen gleich groſs seyn, damit die Schwingungen derselben in gleichen Zeiten erfolgen, was nur unter jener Bedingung bei gleich dicken und durch gleiche Kraft gespannten Saiten möglich ist. Daſs solche verschiedene Abtheilungen einer Saite durch einen oder mehrere entstehende Schwingungsknoten wirklich statt finden können, läſst sich am einfachsten an einem gewöhnlichen Monochorde auf eine interessante Weise auch dann darthun, wenn die erzeugten Schwingungen zu klein sind, um mit bloſsen Augen gesehn zu werden[1]. Zu Fig. 30. diesem Ende theilt man die Saite, die auf den Stegen A und B fest aufliegt, in gleiche aliquote Theile, z. B. in 5, die man auf den Resonanzboden des Monochords aufträgt, hängt über die Stellen a', a'', a''', kleine Papierstreifen von weniger als 1 Lin. breit und kaum 1 Zoll lang, die in der Mitte eingekniffen sind, und eben solche ungefähr in der Mitte zwischen a und a', a' und a'', a'' und a''', a''' und B, berührt dann die Saite schwach mit dem Finger oder einem sonstigen weichen Körper in a und streicht sie mäſsig zwischen A und a mit einem Violinbogen, so werden die Reuterchen in a', a'' und a''' als den Schwingungsknoten ruhn, in den Zwischenräumen aber durch die erzeugten Wellen herabgeworfen werden.

11) Unter den verschiedenen Anwendungen, die von diesem eben erläuterten Gesetze vorkommen, erwähne ich bloſs diejenigen, deren man sich in der ausübenden Musik bedient. Hierhin gehören hauptsächlich die sogenannten *Flageolet-Töne*, sehr hohe, die man auf den Bogeninstrumenten denen ähnlich hervorbringt, welche eine kleine Pfeife (*Flagioletto*) giebt. Zu diesem Ende berührt man die Saite sanft mit dem Finger und streicht sie leise mit dem Bogen, wodurch sie von selbst durch entstehende Schwingungsknoten in aliquote Theile ge-

---

1 Vergl. J. G. Voigt in Gren N. Journ. Th. II. S. 352.

theilt wird und der Gröſse dieser letztern angemessene Töne giebt. Es versteht sich hierbei von selbst, daſs jede Saite auf diese Weise nur solche Töne erzeugen kann, deren Schwingungen zu denen des eigentlichen Tones ein bestimmtes rationales Verhältniſs haben; es lassen sich jedoch diese Verhältnisse abändern, wenn man namentlich beim Violoncello durch Einsetzen des Daumens (festes Niederdrücken der Saite gegen das Griffbret) den eigentlichen Ton derselben abändert, wie zuerst Lagrange[1] wissenschaftlich untersucht hat. Nach Weber[2] lassen sich solche Flageolettöne auch auf der Harfe hervorbringen, wenn man die Saite AB in dem einen Drittel ihrer Länge in a mit dem Ballen des Daumens berührt, mit der Spitze desselben nach *α* hinzieht und dann schwingen läſst, worauf sie nach und nach die in der Figur gezeichnete Wellenbewegung annimmt und die Quinte der nächst höhern Octave ihres eigentlichen Tones giebt. Vorzüglich werden die Töne der *Aeolsharfe*[3] aus diesen Untersuchungen klar, wenn man annimmt, daſs die leise Berührung des Windes, welche die Saite in Schwingungen versetzt, durch einen partiellen Druck verschiedene Schwingungsknoten erzeugt, die nach den eben aufgestellten Gesetzen keine andern als harmonische Töne geben können. Vielleicht beruhn auch die Töne der bereits erwähnten *Wetterharfe* oder *Riesenharfe*[4] auf gleichen Gründen, mindestens ist dieses wahrscheinlicher, als daſs sie durch eine Volumensveränderung in Folge einer verschiedenen Temperatur erzeugt werden.

Fig. 31.

Eine vorzügliche Anwendung finden die hier erläuterten Gesetze bei der Meertrompete (*Trompette marine; Marine trumpet* oder *Trumpet marine*), einem gegenwärtig wenig bekannten, ehemals gangbaren, in der Mitte des 16. Jahrhunderts durch den Italiener Marino oder Marigni erfundenen Instrumente, wobei sich deutlich zeigt, daſs auf die angezeigte Weise nicht alle Töne, sondern nur die durch die rationalen

1 Miscellan. Taurin. T. I. §. 51.

2 Wellenlehre. S. 472.

3 Vergl. diesen Art. Bd. I. S. 208.

4 Vergl. *Barometer*. Bd. I. S. 799. An dieser Stelle wird Prevot der Erfinder derselben genannt, wobei ich der angegebenen Autorität gefolgt bin, Lichtenberg im Gött. Taschenkalend. 1789. S. 129. nennt aber den P. Ventan, Propst zu Bürkli bei Basel, als solchen.

Digitized by Google

Theilungen bedingten erzeugt werden können. Dasselbe besteht aus einem dreikantigen, nach dem einen Ende hin verjüngten Kasten aus drei dünnen Bretern, deren oberes den Resonanzboden bildet. Am dünnern Ende befindet sich ein kurzer Hals mit einem Wirbel L, um welchen eine einzige Saite geschlungen ist, die über den Sattel E geht und unten in der Mitte zwischen A B an einem kleinen Knopfe festsitzt. Bei F ruht sie auf einem dreikantigen Stege a b, welcher jedoch nicht mit der ganzen untern Fläche, sondern nur mit der einen Kante aufsteht, wodurch die Saite einen schnarrenden, trompetenartigen Ton erhält, der noch vermehrt wird, wenn man unter den Steg ein Stück Elfenbein einlegt oder das eine Ende b des Steges durch eine unter demselben befindliche gespannte Saite etwas in die Höhe zieht, wodurch die beim Streichen derselben entstehenden Bebungen verstärkt werden. Zwischen E und K befinden sich Erhabenheiten, wie bei den Zittern, die den Raum E F in aliquote Theile theilen, über denen man die Saite mit dem Finger drückt, doch nicht so stark, daſs sie die Erhabenheit berührt, und also bei H mit einem Bogen gestrichen in Schwingungen geräth, indem sich die durch die berührten Stellen bedingten Schwingungsknoten bilden. Dabei sind die Mengen der Schwingungen den zwischen den Knoten befindlichen Saitenlängen umgekehrt proportional. und indem die ganze Saite jederzeit in aliquote Theile nach ganzen Zahlen getheilt werden muſs, so übersieht man hiernach bald, daſs einige Töne unserer Tonleiter fehlen, andere dagegen erzeugt werden, die nicht in derselben liegen. Hiernach giebt also

Fig. 32.

die ganze Länge = $\frac{1}{1}$ den Grundton
die halbe Länge = $\frac{1}{2}$ die Octave
der dritte Theil = $\frac{1}{3}$ den 12. Ton
der vierte Theil = $\frac{1}{4}$ den 15. Ton = die Doppeloctave
der fünfte Theil = $\frac{1}{5}$ den 17. Ton
der sechste Theil = $\frac{1}{6}$ den 19. Ton
d. siebente Theil = $\frac{1}{7}$ den 21. Ton[1]
der achte Theil = $\frac{1}{8}$ den 22. Ton = die dreifache Octave
der neunte Theil = $\frac{1}{9}$ den 23. Ton oder 2. der 3. Octave

1 Dieser ist tiefer als h und höher als b, fehlt also in der Tonleiter.

Digitized by Google

der zehnte Theil = $\frac{1}{10}$ den 24. Ton oder Tertie der 3. Octave

der eilfte Theil = $\frac{1}{11}$ den 25. — — Quarte — —

der zwölfte Theil = $\frac{1}{12}$ den 26. — — Quinte — —

d. dreizehnte Thl. = $\frac{1}{13}$ den 27. — — falsche Sexte der 3. Octave

d. vierzehnte Thl. = $\frac{1}{14}$ den 28. — — falsche Septime minor der 3. Octave

d. funfzehnte Thl. = $\frac{1}{15}$ den 28. — — Septime major der 3. Octave

d. sechzehnte Thl. = $\frac{1}{16}$ den 29. — — die vierte Octave.

Diese Uebersicht ist sehr belehrend, um einzusehn, daſs die Flageolet-Töne nicht nach der Reihenfolge durch das Niederdrücken der Saiten, wie die gewöhnlichen, erzeugt werden können und daſs die hohen Töne weit vollständiger zum Vorschein kommen, als die tieferen, unter denen die Octave der nächste, möglicher Weise erreichbare ist, denn die Töne werden höher, je näher am Sattel man die Saite berührt, nehmen dann an Höhe ab, bis zur Mitte zwischen EF, von da an aber wieder zu[1].

12) Die geometrische Construction derjenigen Curve, welche eine Saite bei ihren Schwingungen bildet, hat die gröſsten Geometer beschäftigt. Im Allgemeinen berührte schon Galilei dieses Problem, näher Huyghens und Newton, aber die erste Bearbeitung desselben, die noch jetzt Aufmerksamkeit verdient, ist von Brook Taylor[2], welcher die Sache theoretisch untersucht, aber sich so dunkel ausdrückt, daſs man neuerdings keinen Gebrauch mehr von seiner Arbeit macht. Wichtiger ist eine Abhandlung von Joh. Bernoulli[3], und L. Euler[4] hat die Aufgabe mehrmals zum Gegenstande

1 Als erster Entdecker der höhern Töne einer Saite wird Sauveur angesehn, nach dessen Angabe in Mém. de l'Acad. 1701. Aber nach Wallis (Wallisii Opera T. II. p. 466.) haben Noble und Pigot zu Oxford schon vor 1676 sie entdeckt, weswegen Sauveur der Ehre dieser Erfindung entsagte. S. Hawkins History of Music. T. III. p. 134. Matthiew Young Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. P. II. Sect. V. Chladni Akustik p. 69.

2 Methodus incrementorum directa et inversa. Lond. 1715. 4. Phil. Trans. 1713 bis 1726.

3 Comm. Petrop. T. III. S. 13.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin 1748. p. 69. 1753. 1765. p. 307 u.

Digitized by Google

seiner Untersuchungen gewählt, gesteht aber selbst, daſs seine Behandlung des Problems über die Schwingungen ungleich dicker Saiten[1] bloſs als eine Uebung in der Analyse zu betrachten sey. Gleichzeitig beschäftigten sich damit Dan. Bernoulli[2], d'Alembert[3], Lagrange[4], Sauveur[5], Zanotti[6], Giordano Riccati[7] und Matthiew Young[8], später hat Monge[9] eine kurze und lichtvolle Darstellung des Problems gegeben, desgleichen J. F. W. Herschel[10], am vollständigsten und gründlichsten ist die ganze Aufgabe über die Schwingungen elastischer Körper behandelt worden durch Poisson[11]. Inzwischen gehört diese Untersuchung mehr in das Gebiet des höhern Calcüls, als daſs die Akustik Vortheil daraus ziehen sollte, obgleich die Gebrüder Weber[12] gezeigt haben, wie genau die Rechnungen L. Euler's mit ihren Erfahrungen übereinstimmen. Wichtiger dagegen ist es für die Lehre vom Schalle, das Verhältniſs zwischen der Beschaffenheit der Saiten und der Zeitdauer ihrer Schwingungen aufzufinden, worauf dann die Höhen der erzeugten Töne beruhn.

13) Wenn eine gleichmäſsig dicke Saite zwischen zwei festen Puncten gespannt ist und auf irgend eine Art in Schwingungen versetzt wird, die sie sich selbst überlassen zwischen den beiden festen Puncten fortsetzt, so erfolgen nach den für

---

335. Nov. Comm. Soc. Pet. XVII. p. 381. u. T. XIX. Acta Ac. Pet. 1779. P. II. 1780. T. IV. P. II. p. 99. 1781. p. 1. Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. III.

1 Nov. Comm. Pet. T. IX. p. 246.

2 Acad. de Berlin 1753. u. 1765. p. 81. Nov. Comm. Soc. Pet. T. III. p. 62. T. XVI. p. 257.

3 Mém. de l'Ac. de Berlin 1747, 1750 u. 1763. Opusc. T. I. u. IV.

4 Mélanges cet. de la Soc. de Turin. T. I. II. u. III.

5 Mém. de l'Ac. 1713. p. 321.

6 Comm. Bonon. T. IV.

7 Delle corde ovvero fibre elastiche. Bologna 1767. 4.

8 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

9 Application de l'Analyse à la Géométrie. Par. 1809. 4. p. 415. Vergl. Journ. de l'École polyt. C. XV. p. 118.

10 Encyclop. metrop. Art. Sound.

11 Mém. de l'Acad. de l'Institut de France. T. VIII. p. 357.

12 Wellenlehre. S. 449.

Digitized by Google

pendelartig schwingende Körper bereits aufgefundenen Gesetzen die Oscillationen in gleichen Zeiten, wenigstens so weit, daſs kein merklicher Unterschied dabei wahrnehmbar ist, mögen sie so groſs seyn, daſs sie dem Auge sichtbar werden, oder so klein, daſs die Saite zu ruhen scheint. Ist dann das Gewicht der Saite $= p$, die sie spannende Kraft $= P$, ihre Länge $= L$, die Zeit einer Oscillation in Sexagesimalsecunden $= t$ und die Fallhöhe in einer Secunde im leeren Raume $= g$, so ist

$$t = \sqrt{\frac{L}{2g} \times \frac{p}{P}}.$$

Für eine runde Saite vom Halbmesser $= r$ ist das Volumen $= r^2 \pi L$, wenn π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet, und also bei einem specifischen Gewichte $= w$ ist $p = r^2 \pi w L$, welches substituirt

$$t = r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}}$$

giebt. Heiſst ferner N die Anzahl Schwingungen, welche eine Saite in der Zeit T macht, so ist

$$T = N r L \sqrt{\frac{\pi w}{2g P}}, \text{ also } N = \frac{T}{r L} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}$$

und für $T = 1$ Secunde

$$N = \frac{1}{r L} \sqrt{\frac{2g P}{\pi w}}.$$

Hieraus folgt, daſs für gleich dicke und gleich gespannte Saiten von der nämlichen Substanz die Mengen ihrer Schwingungen den Längen umgekehrt und den Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften direct proportional sind[1].

---

1 W. Weber erwähnt Doppeltöne der Saiten oder daſs die Saiten unrein genannt werden. Mir ist hiervon nichts weiter bekannt, als daſs sehr lange und dicke Metallsaiten der Forte-Piano's zuweilen auſser dem Hauptone noch einen höhern Ton schwach hören lassen, was von secundären Schwingungen einzelner Abtheilungen herzurühren scheint. Auſserdem sind die Saiten der Bogeninstrumente oft falsch, d. h. sie geben andere und schlechtere Töne an, als sie sollten, was eine Folge ihrer ungleichen Dicke und Beschaffenheit in ihren einzelnen Abtheilungen ist. S. Poggendorff's Ann. XXVIII. 8.

Digitized by Google

Um den Einfluſs der Saitenlängen auf die Schwingungsmengen zu versuchen, setzt man unter die auf einem Monochorde vermittelst eines unveränderten Gewichtes gespannte Saite einen Steg und bringt die hierdurch gebildeten ungleichen Längen zum Tönen. Heiſst dann der Ton, welchen die ganze Saite giebt, der Grundton, wird der Steg unter die Mitte derselben gestellt und jede der beiden Hälften zum Tönen gebracht, so giebt jede einen höhern Ton, welchen man die Octave nennt. Hieraus ergiebt sich, daſs der Octave, die zum Grundtone im einfachsten Verhältnisse steht und daher am leichtesten unterschieden wird, die doppelte Anzahl von Schwingungen zugehört. Wird die Hälfte der Saite abermals halbirt, so erhält man die Doppeloctave, und so fort durch weiteres Halbiren, so daſs sich also die weitere Untersuchung bloſs auf die in einer Octave zwischenliegenden Töne und deren Verhältniſs beziehen kann, wie dieses später gezeigt werden wird. Auf gleiche Weise läſst sich der Einfluſs des Gewichts, wie ihn die Formel ausdrückt, nachweisen. Ist z. B. das spannende Gewicht = P und man verwandelt dieses in 4 P, so erhält man die Octave u. s. w.

14) Auſser den eben betrachteten transversalen Schwingungen gespannter Saiten geben dieselben auch *longitudinale*. Diese entstehn dadurch, daſs ein Theilchen einen Druck gegen das berührende ausübt, welcher sich dann jedem folgenden mittheilt, wonach die Compressionen und Expansionen vom einen Schwingungsknoten bis zum andern fortlaufen, dann umkehren, und so im steten Wechsel zwischen beiden Schwingungsknoten. Auch hierbei können die Wellen in der ganzen Länge der Saite so statt finden, daſs sie zuerst von B
Fig. 33. nach A laufen, dann bei A umkehren und nach B gelangen; es kann jedoch auch hierbei, wie bei den Transversalschwingungen, eine Abtheilung der Saite in mehrere gleiche Theile durch eine gewisse Anzahl = n Schwingungsknoten, die gleichfalls n + 1 Theile der Saite geben, statt finden, wobei es
Fig. 34. zur Versinnlichung genügt, n = 1 zu setzen. In diesem Falle, wenn die Saite in N einen neuen Schwingungsknoten erhält, läuft die Welle von B nach N, kehrt dann um von N nach B; gleichzeitig setzt aber die Welle ihre Bewegung von N nach A fort und kehrt in diesem Puncte um, wenn sie in B zum zweiten Male beginnt, so daſs also die Richtungen so zu-

Digitized by Google

sammenfallen, wie die Pfeile in der Figur andeuten. In der Wirklichkeit bringt man solche Schwingungen hervor, indem man die Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit einem Bogen streicht, besser aber, wenn man sie mit etwas wollenem Zeuge, den Fingern, oder am besten mit Leder, worauf etwas Colophoniumpulver gestreut und eingerieben ist, der Länge nach streicht und schnell ihren Schwingungen frei überläſst. Das Streichen muſs nahe in der Mitte geschehn, wenn sie ganz schwingen soll, will man aber mehrere Schwingungsknoten erzeugen, so muſs man sie an den Stellen, wo diese entstehn sollen, leise mit dem Finger oder mit einem weichen Körper berühren. Die auf diese Weise erzeugten Töne sind nicht angenehm und werden daher nicht praktisch gebraucht, auſserdem aber sind sie ungleich höher, als die durch Transversalschwingungen der nämlichen Saiten erzeugten. Sie stimmen mit den letztern darin überein, daſs ihre Höhe den Saitenlängen umgekehrt proportional ist, dagegen aber kommt die Dicke und Spannung der Saiten weit weniger in Betrachtung, als die Substanz, woraus sie bestehn. So ist unter andern bei gleicher Länge und Spannung der Ton einer Meſsingsaite ungefähr eine Sexte höher, als einer Darmsaite, und einer Stahlsaite ungefähr eine Quinte höher, als einer Messingsaite, wovon der Grund ohne Zweifel in der gleichzeitig mitwirkenden eigenen Steifheit derselben liegt. Versuche lassen sich nicht füglich anders als mit sehr langen Saiten anstellen, wie denn Chladni zu den seinigen eine von 48 rheinl. Fuſs Länge anwandte, die im Ganzen schwingend ungefähr den Ton einer 8 Fuſs langen Orgelpfeife oder das groſse B gab[1].

b) Schwingende Stäbe.

15) Runde oder kantige Stäbe von verhältniſsmäſsig beträchtlicher Länge gegen ihre Dicke, die durch eigene Steifheit elastisch sind, schwingen auf ganz gleiche Weise, als gespannte Saiten, insofern ihre natürliche Steifheit die Span-

---

1 Chladni Akustik S. 77. erwähnt, daſs Riccati a. a. O. von longitudinalen Schwingungen der Saiten rede, ohne Zweifel aber ist er selbst der erste, welcher dieses Problem bearbeitet hat. S. dessen Entdeckungen über die Theorie des Klanges. S. 76. Berlin. musik. Monatschr. 1792. Aug.

Digitized by Google

nung ersetzt, die den letzteren künstlich gegeben werden muſs. Sie können daher gleichfalls an beiden Enden, aber auch bloſs an einem oder an jeder beliebigen Stelle fest eingeklemmt seyn, man kann sie ferner auflegen und auch leise berühren, um die Transversalschwingungen bei ihnen auf ähnliche Weise zu bedingen und zu modificiren, als dieses bei Saiten geschieht. Fig. 85. Die Figur zeigt in a, b und c einige der verschiedenen Schwingungsarten eines an einem Ende befestigten, nicht berührten und berührten, und eines aufliegenden Stabes. In der Anwendung findet man solche bei den Stahlstiften der in der Schweiz häufig verfertigten kleineren und gröſseren Spieluhren und der sogenannten *Eisenvioline*, die aus stählernen, in den halbkreisförmigen Steg eines Resonanzbodens eingeschlagenen und mit einem Violinbogen gestrichenen Stäben besteht. Aufliegende Stäbe oder schmale Streifen von Glas, Stahl oder Holz, die an beiden Seiten ungefähr im vierten Theile ihrer Länge auf Strohseilen oder sonstigen weichen Unterlagen ruhen, und mit kleinen Klöppeln geschlagen werden, geben die *Strohfiddel* oder ein solches Instrument, wie es in der Zauberflöte von Papageno gespielt wird. Nach Chladni hat Hauck in Stuttgart ein solches mit Tasten eingerichtet, auch soll das *clavecin à cordes de verre* von Beyer in Paris und das *Glasschord* der Engländer von dieser Beschaffenheit seyn. Uebrigens benutzt man eine im Schraubstocke festgeklemmte Uhrfeder, oder eine sonstige Lamelle, um durch Streichen mit einem Violinbogen einen Ton hervorzubringen und hierdurch die demselben zugehörigen Schwingungsmengen zu zählen.

Die geometrische Untersuchung der genannten Schwingungen haben Daniel Bernoulli[1], L. Euler[2] zuerst unvollständig und nicht ganz richtig, nachher aber völlig befriedigend, Giordano Riccati[3] und neuerdings noch vollständi-

1 Comment. Petrop. T. XIII.

2 Methodus inveniendi curvas maximi minimique proprietate gaudentes. Add. I. p. 282. Acta Ac. Pet. 1779. T. III. p. 103.

3 Mem. di Mat. e Fis. della Soc. Ital. T. I. p. 444. Die Einwürfe, welche Passner in: Investigatio motuum et sonorum, quibus laminae elasticae contremiscunt. Jen. 1801. 4. gegen die genannten Demonstrationen vorgebracht hat, erklärt Chladni für unrichtig.

ger Poisson[1] mitgetheilt, Herschel und Biot aber haben bloſs die einfachen, durch Chladni[2] aufgefundenen, mit der Erfahrung übereinstimmenden Resultate aufgenommen, die sich auf die unter gegebenen Bedingungen statt findenden Schwingungsmengen in einer Secunde beziehn. Heiſst diese bei Stäben oder andern diesen an Gestalt ähnlichen, transversal schwingenden Körpern N, die Dicke des Stabes D, die Länge L, die Steifheit oder Rigidität der Masse ϱ, das spec. Gewicht derselben oder ihre Dichtigkeit δ, der Fallraum in einer Secunde g und eine constante Zahl der Schwingungen n, so ist

$$N = \frac{n^2 D}{L^2}\sqrt{\frac{2g\,\varrho}{\delta}}.$$

Bei Stäben aus der nämlichen Materie ist also $N = \frac{D}{L^2}$, d.h. die Höhe der Töne ist der Dicke der Stäbe direct und dem Quadrate ihrer Länge umgekehrt proportional[3]. Bei der nämlichen Schwingungsart und unter übrigens gleichen Bedingungen findet man hiernach die Rigidität der verschiedenen Körper $\varrho = \frac{N^2\,L^4\,\delta}{D^2}$. Chladni hat ferner theoretisch untersucht und durch Erfahrung geprüft, welche Töne bei gleichen Stäben, aber veränderten Schwingungsknoten entstehn müssen, und diese in Tabellen zusammengestellt; es scheint mir jedoch überflüssig, diese hier mitzutheilen. Dagegen füge ich noch die Bemerkung hinzu, daſs schwingende Stäbe, z. B. Stimmgabeln, im Anfange einen etwas tieferen Ton geben, als spä-

1 Mém. de l'Acad. Instit. de France. T. VIII. p. 442.

2 Akustik. p. 101.

3 Chladni findet hiernach die bekannte Erzählung, daſs Pythagoras die Töne der drei Hämmer in der Schmiede ihren Gewichten proportional gefunden habe, die sich bei Nicomachus Cherasenus in Enchiridium harmonices p. 10. ed. Meibom., bei Jamblichus in Vita Pythag. cap. 26., bei Nicomachus Arithm. Introd. p. 171., bei Gaudentius in Isagoge harmonica p. 13. ed. Meibom., bei Macrobius in Somn. Scip. L. II. cap. 1. und Boëthius de Musica cap. 10. findet, falsch, ebenso wie die noch leichter als unrichtig zu erweisende Angabe, daſs ebenderselbe bei gleich langen und auch übrigens gleichen Saiten die Tonhöhen den angehängten Gewichten proportional gefunden habe, da sie vielmehr den Quadratwurzeln derselben proportional sind, wie oben gezeigt worden ist. Vgl. Forkel Geschichte der Musik. Th. 1. S. 320.

Digitized by Google

ter[1]. Die Ursache hiervon liegt wohl ohne Zweifel in den anfänglich längeren Excursionen der schwingenden Stäbe, die in dieser Hinsicht den in Kreisbogen schwingenden Pendeln gleichen, deren Schwingungen gleichfalls eine längere Zeit erfordern, wenn die Elongationswinkel gröſser sind[2].

16) Elastische Stäbe werden auf gleiche Weise, als gespannte Saiten, zur Erzeugung *longitudinaler* Schwingungen gebraucht, die bei beiden dem Wesen nach identisch sind, indem sich bei beiden die Schwingungsknoten nebst den zwischen diesen hin- und zurücklaufenden Wellen deutlich nachweisen lassen, mit dem einzigen Unterschiede, daſs die ersten bloſs an einem Ende fest eingespannt werden können, was bei den letztern der Natur der Sache nach unmöglich ist. Auſserdem kann man die Stäbe an beiden Enden, in der Mitte oder an einer oder mehreren Stellen festhalten, um daselbst Schwingungsknoten zu erzeugen. Die Körper, die sich hierzu eignen sollen, müssen einen gewissen Grad der Elasticität haben, und es wird der erzeugte Ton allezeit um so viel klingender seyn, je mehr diese Eigenschaft vorherrscht, wiewohl es Chladni gelungen ist, selbst Zinn und Fischbein dazu zu verwenden. Die Stäbe erfordern eine möglichst gleichmäſsige, nicht zu groſse Dicke, eine sehr glatte Oberfläche; zum Reiben derselben nimmt man bei Glas ein benetztes und mit etwas Bimssteinpulver bestreutes wollenes Läppchen, bei Metall oder Holz aber einen Streifen wollenes Zeug oder Leder, beide trocken und mit Colophoniumpulver bestreut. Am leichtesten gelingen die Versuche mit 4 bis 8 Fuſs langen Barometer- oder Thermometerröhren, die man bei einiger Uebung in der Mitte mit den Fingern der einen Hand festhält und an dem einen freien Ende der Länge nach reibt, wobei es dann nicht schwierig ist, durch Festhalten derselben ungefähr im vierten oder achten Theile ihrer Länge und gehöriges Reiben an einer schwingenden Stelle die Octave und

---

1 Vergl. W. Weber in Poggendorff's Ann. XIV. 307. Bei guten Stimmgabeln mit parallelen Schenkeln findet dieses nach Scheibler nicht statt.

2 Strehlke hat interessante Untersuchungen über die Lage der Schwingungsknoten elastischer transversal schwingender Stäbe angestellt, deren Mittheilung jedoch hier zu viel Raum erfordern würde. S. Poggendorff's Ann. XXVII. 505. XXVIII. 512.

Digitized by Google

Doppeloctave des zuerst erhaltenen Tones, und selbst auch durch anderes Abtheilen in aliquote Theile Töne zu erhalten, die zwischen diesen Octaven liegen.

Neuerdings ist die Menge der hierüber bekannten Thatsachen durch W. Weber[1] um einige sehr interessante und belehrende Erscheinungen bereichert worden. Die Longitudinalschwingungen der Stäbe lassen sich nämlich leicht sichtbar machen, wenn man Scheiben, runde oder eckige, aus gemeinem oder Karten-Papier schneidet, sie in der Mitte durchbohrt und eng anschlieſsend auf die Glasröhre steckt; hält man demnächst diese letztere in der Mitte fest, während durch Reiben am einen Ende ein Ton erzeugt wird, so schiebt sich die Scheibe, wenn auch ziemlich fest anschlieſsend, allmälig bis in die Nähe der haltenden Finger fort. Noch interessanter, aber auch schwieriger ist ein durch Weber angegebener Versuch. Dieser nahm 4 bis 6 Fuſs lange, 3 bis 6 Lin. weite Glasröhren, steckte in das untere Ende einen genauen passenden, an der Grenze der Röhre abgeschnittenen Glasstöpsel, hielt die in ihrer Mitte angefaſste Röhre lothrecht und rieb das obere Ende mit einem nassen wollenen Läppchen. Sofort beim Entstehn des Längentones stieg der Glasstöpsel in die Höhe, bis in die Nähe des durch die berührenden Finger erzeugten Schwingungsknotens, und übte dabei eine solche Gewalt aus, daſs er zugleich eine darüberstehende, mehrere Fuſs hohe Wassersäule hob. Als die Röhre voll Wasser gegossen und oben mit einem Glasstöpsel verschlossen war, war die durch die Longitudinalschwingungen erzeugte Gewalt so groſs, daſs das Wasser oben in feinen Strahlen herausspritzte. War die Röhre mit Wasser gefüllt, so gelangte der Stöpsel nicht bis zum Schwingungsknoten.

Die angegebenen Versuche sind sehr geeignet, das eigentliche Wesen der Longitudinalschwingungen aufzuklären, was insofern wichtig ist, als die nachher zu untersuchenden Schwingungen der Luftsäulen gleichfalls unter diese Classe gehören. Wenn man einen elastischen Stab aus seiner geraden Richtung biegt, so müssen die einander parallel laufenden gekrümmten Flächen, die convexe und die concave, nothwendig eine Zusammenziehung oder eine Ausdehnung oder wahr-

---

1 Schweigg. Journ. LIII. 308.

scheinlich gleichzeitig beides abwechselnd erleiden, indem sie beim Zurückschnellen jedesmal in den entgegengesetzten Zustand übergehn. Hieraus ergiebt sich, daſs bei elastischen Körpern eine gröſsere Näherung und Entfernung der Molecülen sehr häufig vorkomme, die wir sonach als die Ursache der durch transversale sowohl als auch durch longitudinale Schwingungen erzeugten Töne zu betrachten haben, indem sich beide dem Wesen nach nur dadurch von einander unterscheiden, daſs die Contractionen und Expansionen bei den erstern in der Regel gleichzeitig in der ganzen Länge zwischen zwei Schwingungsknoten statt finden, bei den letztern aber vom einen derselben bis zum andern abwechselnd hin – und zurücklaufen. Das wirkliche Vorhandenseyn solcher Verdichtungen und Verdünnungen wird später bei schwingenden Scheiben thatsächlich nachgewiesen werden. Die einzige Schwierigkeit, welche sich hierbei einer genauen Vorstellung des eigentlichen Vorganges entgegenstellt, entsteht aus der Bildung der Schwingungsknoten. Sehr leicht begreiflich ist die Entstehung derselben bei den Transversalschwingungen, wenn man sich z. B. denkt, daſs der in α
Fig. 85c. und β ruhende Stab am einen Ende A seitwärts gebogen wird, dann diese Beugung über α hinaus fortsetzt, so daſs sie in der Mitte zwischen α und β ihr Maximum erreicht, in β wieder zur Ruhe übergeht und jenseit β in entgegengesetzter Richtung fortläuft; desto schwerer begreiflich dagegen ist das Fortlaufen der Verdichtungen und Verdünnungen bis zum Schwingungsknoten und das von hier aus, ungeachtet des statt findenden Ruhens, gleichzeitig erfolgende weitere Fortlaufen und Rückgehn derselben nach entgegengesetzten Seiten vom Schwingungsknoten aus. Eine genügende Erklärung dieses Verhaltens vermag ich nicht zu geben, indeſs läſst sich die Sache durch ähnliche Erscheinungen mindestens etwas aufklären. Die Verdünnungen und Verdichtungen, die zum Wesen der Longitudinalschwingungen gehören, finden zwar bei allen Molecülen des tönenden Körpers statt, aber keineswegs bei allen auf gleiche Weise, indem vielmehr, wie die einzelnen Partikeln des Wassers bei den Wellen eigenthümliche Bewegungen annehmen, auch die einzelnen Theile des tönenden Stabes in verschiedenartige, zu einzelnen Gruppen gehörige Contractionen und Expansionen versetzt werden, von denen die zu einer durch die vorhandenen Ursachen bedingten Gruppe

Digitized by Google

gehörigen Schwingungen den Ton erzeugen, ohne dadurch das Fortschreiten der Wellen durch die den Schwingungsknoten bildende Maſse zu hindern. Als entfernt ähnlich darf man sich nur Folgendes vorstellen. Wenn im Wasser mit den Wellen parallel eine noch unter den tiefsten Punct der Wellen herabgehende Breterwand befestigt wäre, so würden sich an dieser allerdings die Wasserwellen brechen, aber dennoch jenseit derselben fortgehn. Auf gleiche Weise pflanzt sich der Stoſs durch eine Reihe elastischer, sich gegenseitig genau berührender Kugeln fort, selbst wenn man irgend eine derselben festhält.

17) Für diese Ansicht läſst sich ein gewisses eigenthümliches Verhalten elastischer Stäbe bei transversalen Schwingungen anführen. Wenn man nämlich eine etliche Fuſs lange, etwas dicke Thermometerröhre am einen Ende zwischen den Fingern oder an einem Faden gebunden herabhängen läſst und sie mit einem Stabe schlägt, so sieht das Auge langsamere Transversalschwingungen und das Ohr, dicht an die Röhre gehalten, hört leise Töne, die zu tief sind, um durch longitudinale Schwingungen erzeugt zu seyn, aber höher, als die sichtbaren transversalen geben könnten. Die durch letztere erzeugten Töne werden wahrgenommen, wenn man den Faden, woran die Röhre hängt, mit den Fingern zur unmittelbaren Berührung der Gehörwerkzeuge bringt, wobei nicht selten auch die höheren mittönen. Es ergiebt sich also hieraus noch deutlicher, als aus den Erscheinungen der Aeolsharfe, daſs verschiedene Töne, durch ungleich schnelle transversale Vibrationen erzeugt, gleichzeitig statt finden können, und daſs es neben denen, die einen Ton hervorbringen, auch solche giebt, welche wegen ihrer Schwäche nicht auf das Gehör wirken.

Ungleich wichtiger in dieser Beziehung sind diejenigen Erscheinungen, welche Savart[1] an Glasröhren und elastischen Blechen wahrgenommen hat, von denen ich hier bloſs diejenigen mittheilen will, die sich bei der Anwendung der Glasröhren zeigen, indem die andern mehr dem Verhalten der

1 Ann. Chim. et Phys. T. XXIV. p. 56. T. XXV. p. 12. 138. 225.

Digitized by Google

Scheiben beizuzählen sind. Die Gebrüder Weber[1] haben die Versuche wiederholt, und wo die Resultate von denen ihres Vorgängers abweichen, habe ich die ihrigen durch eigene Experimente bestätigt gefunden. Sie wandten hierzu acht 6 F. und darüber lange 8½ bis 2½ Lin. Durchmesser haltende Röhren an, die sie in mehrere kürzere zerschnitten und an einem mehrmals zusammengelegten, an der inneren Seite mit einer klebenden Substanz bestrichenen Tuchstreifen festhielten, indem sie diesen herumlegten und die Enden zwischen einen Feilkloben festklemmten. Im Innern der Röhre wird (gefärbter) trockener Sand möglichst gleichmäſsig vertheilt, die Röhre in horizontaler Lage gehalten und auf die angegebene Weise durch Reiben des einen Endes mit einem nassen, durch etwas aufgestreutes Bimsteinpulver rauher gemachten, wollenen Läppchen in longitudinale Schwingungen versetzt. Während des Reibens hüpfen die einzelnen Sandkörner und nehmen eine Bewegung in der Richtung der Längenaxe der Röhre an, indem sie an verschiedenen Stellen nach beiden Seiten hin fortgleiten und an andern zwischen diesen liegenden aufgehäuft werden. Der Sand bildet daselbst 0,5 bis 2 Zoll lange[2], oval oder gewöhnlicher spitz auslaufende Häufchen, fünf bis neun zugleich, die in Beziehung auf die Mitte und Enden nicht allezeit symmetrisch geordnet sind, und nicht verdoppelt werden, wenn man die Röhre, statt in der Mitte, im vierten Theile ihrer Länge festhält und also einen höhern Ton als den frühern erzeugt; im Ganzen tönt aber die den Sand enthaltende Röhre minder leicht, als ohne diesen. Wenn man die Röhre so dreht, daſs die vorher nach oben gerichtete Fläche nach unten kommt, den Sand abermals darin vertheilt und wieder reibt, so bilden sich auf gleiche Weise die Häufchen, jedoch an andern Stellen, als vorher, wie man wahrnimmt, wenn man die ersten mit etwas Oelfarbe bezeichnet. Man kann auf diese Weise die Röhre allmälig ganz um ihre Axe drehen und erhält dann durch das Fortrücken der Sandhäuf-

1 Wellenlehre S. 555. Vergl. Schweigg. Journ. Bd. XLIV. S. 385. XLV. S. 257.

2 Mit einer 9,5 Fuſs langen, 2,75 Lin. weiten Glasröhre und etwas vielem eingebrachten schwarzbraunen feinen Sande erhielt ich selbst 3 bis 3,5 Zoll lange Häufchen.

Digitized by Google

chen eine eigenthümliche, schraubenförmig gewundene, aus kurzen, fast quer um die Röhre sich beugenden Stücken a b, c d, e f, g h, und aus längeren, fast geraden bestehende Li- Fig. nie. Die erstern liegen in ziemlich gleich groſsen Abständen, 36. die sich abwechselnd auf entgegengesetzten Seiten der Röhre befinden, und der Sand bildet auf ihnen stumpf endende, auf den letztern aber lang gestreckte Häufchen. Bei kurzen und weiten Röhren zeigen sich die Windungen absatzweise, bei langen und engen mehr schraubenförmig. Der Grund dieser eigenthümlichen und bei verschiedenen Röhren ungleichen Anordnung der genannten Linien ist noch nicht aufgefunden.

Bei einem ganz einfach und ohne besondere Aufmerksamkeit angestellten Versuche bemerkt man sehr auffallend und leicht das schnelle Hüpfen, sowie das Hin- und Herlaufen des Sandes. Genauere Beobachtungen aber zeigen bei einigen, besonders denen der Mitte nahe liegenden Sandhäufchen ein Umlaufen der einzelnen Sandkörnchen in einer elliptischen Bahn, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist; daſs aber die Fig. Bewegungen der Sandkörnchen zu beiden Seiten der festge- 37. haltenen Mitte einander entgegengesetzt gerichtet seyn sollten, wie Savart beobachtete, haben die Gebrüder Weber nicht bestätigt gefunden, indem es bloſs dann statt findet, wenn von der Mitte der Röhre aus zwei entgegengesetzt gewundene Schraubenlinien ausgehn, was ersterer gleichfalls als Regel, letztere aber nur als Ausnahme betrachten. Nach letzteren bilden überhaupt die Stellen, an denen sich der Sand aufhäuft, nur bei langen und engen Röhren solche schraubenförmige, einander parallel laufende Linien, bei kurzen und weiteren dagegen regelmäſsig wechselnde, auf der Axe fast rechtwinklige Linien, deren eine Hälfte zerstreuend, die andere sammelnd wirkt. Die Sandkörnchen, die sich auf den sam- Fig. melnden Stellen befinden, ändern ihren Ort nicht, auf den 38. zerstreuenden aber theilen sie sich in zwei Hälften, wie die Richtung der Pfeilspitzen andeutet, und wandern nach entgegengesetzten Seiten, diejenigen, die zwischen diesen beiden genannten Stellen liegen, wandern nach der ihnen zunächst liegenden sammelnden Stelle hin. Der ganze Vorgang, wie er sich bei zwei Röhren von fast 3 F. Länge, $8\frac{1}{2}$ L. Durchmesser und $7\frac{1}{2}$ L. Weite zeigte, und welchen Weber für die normale Erscheinung hält, statt daſs die Bildung der Schrau-

Digitized by Google

benlinien eine Abnormität seyn soll, ist folgender. Liegt ein Sandhäufchen in A, und wird die Röhre allmälig gedreht, bis es nach a gelangt, so befindet es sich auf der zerstreuenden Linie, die zur Unterscheidung punctirt ist, weil sie sich auf der abgewandten Seite der Röhre befindet. Hier theilt es sich sogleich in zwei Hälften, deren eine nach x hin wandert und aus der Röhre fällt, die andere aber nach b zur zweiten sammelnden Linie B, wo sie ruht und bei fortwährendem Reiben der Röhre und Drehen derselben den Ort nicht ändert, so lange sie auf dieser sammelnden Linie bleibt, bis sie an die Grenze a kommt. An dieser Stelle, dem Anfange der zerstreuenden Linie, theilt sich das Häufchen abermals in zwei Hälften, wovon die eine nach dem Ende b der Linie A wandert und, wenn die Röhre in der früheren Richtung gedreht wird, von b nach a, womit der Kreislauf vollendet ist; die zweite Hälfte geht nach b der sammelnden Linie C, von hier bei fortgesetzter Drehung der Röhre nach a dieser nämlichen Linie, trennt sich hier wieder in zwei Hälften, wovon die eine nach b der sammelnden Linie B rückwärts, die andere nach b der sammelnden Linie D wandert und so fort, wie es aus dem bisher Gesagten von selbst folgt. Diese Schwingungen, denen ähnliche sich auch bei Glasstreifen zeigen, sind nach Weber's richtiger Bemerkung keineswegs die den Ton erzeugenden, welcher zwar hoch ist, aber für solche Längen viel zu tief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man lange Röhren zuerst in der Mitte, dann ungefähr im 4ten Theile ihrer Länge hält, hierdurch einen höhern Ton erzeugt und gleichzeitig die Lage der Sandhäufchen beobachtet. Die Schwingungen sind also von einer höhern Ordnung, die den Ton zwar bedingen, aber nicht erzeugen, denen ähnliche sich auch bei andern gläsernen Körpern leicht nachweisen lassen[1].

Fig. 39.

18) Die Lage und Zahl der Schwingungsknoten solcher tönender Stäbe hängt ab von den Stellen, wo sie gehalten

---

1 Man kann bei der Erzeugung der Figuren durch longitudinale Schwingungen in Glasröhren auch Lycopodiensamen anwenden, und erhält dann ähnliche interessante Resultate, als diejenigen, die Faraday bei den transversalen Schwingungen elastischer Scheiben untersucht hat §. 32. Es scheint mir indeſs nicht nothwendig, diese so leicht darstellbaren Erscheinungen ausführlicher anzugeben.

Digitized by Google

und wo sie berührt werden. Sind sie ganz frei, so erhalten sie in der Mitte einen Schwingungsknoten, und der Ton ist also gleich hoch, wenn man den Stab durch sein Gewicht zwischen dem reibenden Läppchen herabgleiten läſst, welches jedoch nicht ohne groſse Schwierigkeiten geschieht, oder wenn man ihn in der Mitte hält. Wird derselbe aber ungefähr im vierten Theile seiner Länge gehalten und am besten in der Mitte oder nahe am andern Ende gerieben, so giebt er die Octave und hat zwei Schwingungsknoten, deren man drei hervorbringen kann, wenn man ihn ungefähr am sechsten Theile seiner Länge faſst. Diese Töne stehen also im Verhältnisse 1, 2, 3, 4 oder 2, 4, 6, 8. Ist der Stab am einen Ende unbeweglich befestigt und wird er in nicht groſser Entfernung vom andern Ende gestrichen, so erhält man einen Ton, welcher um eine Octave tiefer ist, als wenn man ihn in der Mitte hält, woraus also hervorgeht, daſs er dann nur an beiden Enden Schwingungsknoten hat. Auch bei einem so befestigten Stabe lassen sich durch Berührung noch andere Schwingungsknoten erzeugen, so daſs man eine Reihe von Tönen erhält, deren Reihenfolge durch die Zahlen 1, 3, 5, 7 bezeichnet werden kann und zwischen denen also gleichfalls die eben genannten 2, 4, 6, 8 liegen. Wird der Stab an beiden Enden zwischen Schraubstöcke festgeklemmt, so erhält er zunächst auſser an beiden Enden keinen Schwingungsknoten, er kann jedoch auch noch einen in der Mitte oder auch zwei, jeden im dritten Theile seiner Länge, erhalten[1].

Nach Chladni's Versuchen ist die Dicke und Spannung der Saiten und Stäbe von gar keinem Einflusse auf die Tonhöhe, sondern letztere wird bloſs durch die Länge und durch die Beschaffenheit der Materie bedingt, woraus die Stäbe bestehn. Rücksichtlich der Saiten, bei denen eine stärkere künstliche Spannung statt finden kann, die bei Stäben nicht wohl möglich ist, haben die Gebrüder Weber[2] diese Behauptnng geprüft, und gefunden, daſs allerdings die Spannung eine Erhöhung des Tones bewirkt, ohne daſs jedoch ein regelmäſsiges Verhältniſs zwischen beiden statt findet, indem eine Ver-

1 Chladni über longitudinale Schwingungen der Stäbe. Erfurt 1796. Akustik S. 104.

2 Wellenlehre S. 553.

Digitized by Google

mehrung des spannenden Gewichtes auf das Zweifache eine Erhöhung des Tones zur kleinen Quarte erzeugte, die bei einer Vermehrung bis zum Fünffachen um nicht mehr als eine groſse Secunde wuchs; Chladni hat daher vermuthlich die Spannung der bereits stark gespannten Saiten vermehrt und die dadurch bewirkte geringe Erhöhung des Tones nicht beachtet. Bei der Untersuchung der Tonhöhen longitudinal schwingender Stäbe kommt aber das Gesetz sehr in Betrachtung, welches Chladni aufgefunden und La Place nachher in Beziehung auf die Fortpflanzung des Schalles aus theoretischen Gründen bestätigt hat, nämlich daſs die Longitudinalwelle die gegebene Länge eines Stabes in der nämlichen Zeit durchläuft, in welcher derselbe einmal hin und her schwingt. Hierbei kommt dann noch die Analogie in Betrachtung, welche zwischen den Longitudinalschwingungen der tönenden Luftsäulen und der Stäbe statt findet, indem bei beiden die Longitudinalschwingung für eine gegebene Länge gerade so viel Zeit erfordert, als diejenige beträgt, in welcher der Schall durch dieselbe fortgeleitet wird. Ist hiernach also die Tonhöhe bekannt, welche die Luftsäule und ein gegebener Stab, beide von gleicher Länge, durch Longitudinalschwingungen geben, so läſst sich hiernach das Verhältniſs der Geschwindigkeiten in beiden durch Vergleichung beider Tonhöhen auffinden, wie dieses durch Biot[1] mit Benutzung der Chladni'schen Versuche geschehn ist. Heiſst diesemnach bei der Luft die Zeit T, die Länge der Welle α und die Geschwindigkeit a, und werden die nämlichen accentuirten Bezeichnungen für einen Stab gebraucht, so ist

$$\alpha = a\,T \text{ und } \alpha' = a'\,T'.$$

Sowohl die Luftsäule in einer offenen Pfeife, als auch ein an beiden Enden freier Stab haben in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten, wonach also bei ihnen die von der Longitudinalwelle durchlaufene Länge gegeben ist. Heiſst diese L', so ist

$$L' = a'\,T' \text{ und also } a' = \frac{L'}{T'},$$

und wenn die Longitudinalwelle in der Luft für eine gleiche Länge die Zeit T bedürfte, so wäre

1 Traité de Physique cet. T. II. p. 85.

Digitized by Google

$$L' = a\,T \text{ und diesemnach } a' = a\,\frac{T}{T'}.$$

Ist ferner die Anzahl der Schwingungen, die den erhaltenen Tönen zukommt, anderweitig bekannt, und nennt man diese bei der Luftsäule N, bei einem Stabe N', so ergiebt sich

$$a' = a\,\frac{N'}{N}.$$

Die von Chladni gebrauchten Stäbe hatten die Länge von zwei rheinländischen Fuſsen, und da eine Pfeife von dieser Länge, wenn sie an beiden Enden offen ist und demnach in der Mitte einen Schwingungsknoten, wie die schwingenden Stäbe, erhält, einen Ton giebt, welcher in der Tonleiter eingestrichen c ($\bar{c}$) heiſst, so ist der Werth von N hierdurch gegeben[1] und man hat also

$$\frac{a'}{a} = \frac{N'}{\bar{c}} \text{ und folglich } a' = a\,\frac{N'}{\bar{c}},$$

wodurch das Verhältniſs der Geschwindigkeit der Schallwellen in der Luftsäule zu der im Stabe und die absolute Gröſse der letzteren gegeben ist. Hiernach erhielt Chladni mit seinen gleich langen, aus verschiedenen Substanzen verfertigten Stäben folgende Gröſsen:

1 Vergl. §. 95.

Digitized by Google

Substanzen	Erhaltene Töne	Einfache Geschwindigkeit
Fischbein ungefähr	dreigestrichen a	6⅓
Englisches Zinn —	— h	7½
Silber, ungefähr 15löth.	viergestrichen d	9
Nuſsbaumholz Taxusholz[1] } —	— f	10⅔
Messing Eichenholz Pflaumbaumholz } —	— fis	10⅔
Thönerne Pfeifenstiele	— e bis g	10 bis 12
Kupfer beinahe —	— g	12
Birnbaumholz Rothbuchen Ahorn } —	— gis bis a	12½ bis 13⅓
Mahagoni, gewöhnliches	— b fast	14⅔
Ebenholz Weiſsbuchen Rüstern Erlen Birken } ungefähr	— b	14⅔
Linden beinahe —	— h	15
Kirschbaum —	— h	15
Weiden Kiefern[2] } —	fünfgestrichen c	16
Glas Eisen[3] } ungefähr	— cis	16⅔
Tannen, höher als	— cis	16⅔ bis 18.

Diese Resultate sind zwar nicht absolut sicher, aber doch in einem ziemlich hohen Grade, und auf jeden Fall folgt aus ihnen die gröſsere Geschwindigkeit der Schallwellen in diesen Körpern, als in der atmosphärischen Luft. Nimmt man die Töne von Fischbein und Zinn aus, die ohnehin etwas dump

1 Bei dieser Holzart kann der Ton noch höher werden, wenn die Fibern gerader sind.

2 Bei mehr schrägen Fasern war der Ton fast eine Terti tiefer.

3 Zwischen weichem Eisen und hartem Stahl war kein merkliche Unterschied.

und undeutlich sind, so liegen alle andere im Umfange einer einzigen Octave. Läſst sich hiernach annehmen, daſs die Tonhöhen bei den verschiedenen Körpern durch den Grad ihrer Starrheit (Sprödigkeit) und die Nähe ihrer Elementartheilchen (spec. Gewicht) bedingt werden, so folgt aus der geringen Verschiedenheit derselben bei sehr ungleichen Substanzen, als Glas, Eisen und Tannenholz, daſs die eine dieser Bedingungen durch die andere compensirt wird. Bezeichnet man diesemnach die relative Geschwindigkeit, die der bestimmten Schwingungsart nach der Zahl der Schwingungsknoten zukommt, durch n, die Länge des Stabes durch L, die Elasticität (Sprödigkeit) durch ϱ, das specifische Gewicht durch δ, so scheint die Zahl der Schwingungen oder der erzeugte Ton

$$N' = \frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

zu seyn. Inzwischen beruht dieser Ausdruck keineswegs auf hinlänglich begründeten Thatsachen. Eine geometrische Construction der longitudinalen Schwingungen der Stäbe hat Poisson in seiner erwähnten Abhandlung geliefert, deren ausführliche Mittheilung sich für den vorliegenden Zweck nicht eignet. Merkwürdig ist jedoch das Verhältniſs, welches derselbe auf diese Weise zwischen den transversalen und longitudinalen Schwingungen aufgefunden hat und welches auf der Gestalt der Stäbe beruht. Am leichtesten und sichersten ist dasselbe bestimmbar bei runden und parallelepipedischen Stäben[1]. Sind diese an beiden Enden frei, so daſs sie den tiefsten Ton geben, nennt man ihre Länge L, ihre Dicke oder bei runden ihren Durchmesser e, die Menge der longitudinalen Schwingungen in einer Secunde n, der transversalen n', so ist für kantige Stäbe

$$n' = (2{,}05610)\,\frac{ne}{L}$$

und für runde

$$n' = (1{,}78063)\,\frac{ne}{L}.$$

Nach Versuchen, die Savart zur Prüfung dieser Formel angestellt hat, ergiebt sich eine so genaue Uebereinstimmung, als man bei einer so schwierigen Aufgabe erwarten kann.

1 Ann. Chim. Phys. T. XXXVI. p. 87.

Digitized by Google

19) Chladni[1] hat zuerst entdeckt, daſs Töne auch durch *drehende* Schwingungen der Stäbe erzeugt werden, und er scheint auch bis jetzt der einzige zu seyn, welcher diese am wenigsten interessanten näher betrachtete. Im Ganzen hängen auch diese mit der Elasticität[2] der Körper zusammen, die in fadenförmiger Gestalt, wenn sie gedreht werden, mit bedeutender Geschwindigkeit wieder in ihre vorige Lage zurückkehren, nach dem Gesetze der Trägheit über diese hinausgehn und auf diese Weise pendelartig sowohl anhaltend als auch regelmäſsig vibriren. Die Stäbe, womit man diese Töne hervorbringt, müssen rund und glatt seyn, wobei schon aus der Analogie folgt, daſs sie ebenso wie bei den longitudinalen Schwingungen ganz frei gehalten werden, oder an einem oder an beiden Enden eingeklemmt seyn, auch durch Berührung an verschiedenen Stellen noch andere Schwingungsknoten erhalten können. Nach Biot[3] kommen die Töne dann zum Vorschein, wenn man sie mit einem Bogen streicht, allein ich habe dieses nie versucht oder vielmehr auf diese Weise bloſs transversale Schwingungen erzeugen können. Chladni, den ich um das geeignete Verfahren, sie hervorzubringen, fragte, gab mir kein anderes an, als dasjenige, wodurch man sie zwar schwieriger, als die longitudinalen Töne, dennoch aber bei langen, namentlich gläsernen Röhren oder Stäben jederzeit unfehlbar hervorbringt. Man hält den Stab in seiner Mitte zwischen den Fingern der einen Hand und reibt das freie Ende auf die bekannte Weise mit einem nassen wollenen, durch aufgestreutes Bimssteinpulver hierzu bereiteten Läppchen so, daſs die Longitudinaltöne in möglichster Vollkommenheit zum Vorschein kommen. An derjenigen Stelle der Röhre, wo dieses geschieht, hält man das Läppchen mit etwas stärkerem Drucke, als für die longitudinalen Schwingungen erfordert wird, fest und dreht die Röhre mit den sie haltenden Fingern durch Rollen um ihre Axe, worauf der Ton sogleich um so hörbarer erzeugt wird, je länger die Röhre ist.

Chladni giebt an, diese durch drehende Schwingungen

1 Neue Schriften der Berlin. Ges. Naturf. Freunde. Bd. II. S. 274. G. II. 87.

2 S. *Elasticität*. Bd. III. S. 194.

3 Traité de Phys. T. II. p. 88.

Digitized by Google

erzeugten Töne seyen allezeit eine *Quinte* tiefer, als die mit demſelben und auf gleiche Weise gehaltenen Stabe erzeugten Longitudinaltöne, und diese Behauptung ist nicht bloſs in alle spätere Lehrbücher übergegangen, sondern Biot[1] gründet hierauf zugleich eine Erklärung derselben. Hiernach sollen die zu den Vibrationen gehörigen Zusammendrückungen der Theilchen nicht in einer auf die Axe der Röhre rechtwinkligen, sondern in einer dieselbe im Winkel von 45° schneidenden Richtung erfolgen, hierdurch aber die Länge um so viel vermehrt werden, daſs hierdurch der tiefere Ton erfolgen müsse. Diese Verlängerung betrage nämlich $\sqrt{2}$, die ursprüngliche $= 1$ gesetzt, und weiche demnach nicht merklich von $\frac{3}{2}$ oder noch weniger von $\frac{36}{25}$ ab, wenn man die kleine Quinte nimmt. Nimmt man die groſse Quinte, so ist das Verhältniſs $= 1{,}5$, welches von $\sqrt{2} = 1{,}4175$ nicht ganz unmerklich, mindestens rücksichtlich eines wahrnehmbaren Unterschieds des Tones, abweicht. Von gröſserer Wichtigkeit aber ist der Umstand, daſs der durch drehende Schwingungen erzeugte Ton bei Glasstäben und Glasröhren, deren ich eine sehr groſse Menge untersucht und mit Hülfe eines geübten Musikers nach einem Instrumente verglichen habe, um mehr als selbst die groſse Quinte, nämlich um die kleine Sexte oder selbst die volle Sexte, tiefer ist, so daſs also 1,6 und $\sqrt{2} = 1{,}4174\ldots$ einen zu merklichen Unterschied geben. Aus diesem Grunde und nach der eigenthümlichen Art zu schlieſsen, wie diese Töne erzeugt werden, scheint mir Biot's Hypothese unzulässig, dagegen könnten die eben erwähnten Untersuchungen von Savart und Weber über die ruhenden und vibrirenden Theile der Röhren und das Verhältniſs ihrer Lage gegen einander bei Longitudinalschwingungen zur nähern Einsicht dieser Erscheinungen führen. Ist endlich das Verhältniſs der durch drehende Schwingungen erzeugten zu den Längentönen ein constantes, und nach Chladni das der Quinte, nach meinen Versuchen das der Sexte, so würde die angegebene Formel

$$N' = \frac{2}{3}\,\frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}} \quad \text{oder} \quad N' = \frac{10}{16}\,\frac{n}{L}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

als ein allgemeiner Ausdruck für dieselben gelten können.

---

1 Traité. T. II. p. 88.

Digitized by Google

Ungleich weiter aber, als durch die bisher genannten Gelehrten geschehn ist, hat Poisson in seiner bereits erwähnten Abhandlung[1] diese Aufgabe gebracht. Durch theoretische Betrachtungen, gegründet auf die Gesetze der Elasticität, findet er nämlich, wenn n die longitudinalen und n′ die drehenden Schwingungsmengen bezeichnen, die mit dem nämlichen Stabe von der Länge L erzeugt werden,

$$n = \frac{a}{L} \text{ und } n' = \frac{c}{L},$$

dann aber $a = c\sqrt{\tfrac{5}{2}}$, woraus das Verhältniſs

$$\frac{n}{n'} = \tfrac{1}{2}\sqrt{10} = 1{,}5811$$

hervorgeht. Savart hat das Verhältniſs = 1,6668, also noch gröſser als die volle Sexte = 1,6 gefunden und Poisson meint sonach, daſs das durch ihn erhaltene Verhältniſs sehr nahe dem Mittel aus beiden gleich sey. Allein sobald von Glasstäben die Rede ist, wofür beide genannte Gelehrte kein abweichendes Gesetz angeben, so kann ich über das Resultat meiner Versuche, die ich in zu groſser Menge angestellt habe, nicht in Zweifel seyn, daſs nämlich bei diesen der Unterschied keine volle Untersexte ausmacht, und diesemnach ist das durch Poisson aufgefundene Resultat an sich absolut richtig. Für einen freigehaltenen Stab findet derselbe ferner, daſs die Vibrationsmengen in einer gegebenen Zeit bloſs von der Gröſse $\frac{k}{\varrho}$ abhängen, wenn k die aus der Beschaffenheit der Masse folgende eigenthümliche Elasticität (wofür sich ein zusammengesetzter analytischer Ausdruck finden läſst) mit Rücksicht auf die Temperatur, ϱ aber die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnet. Hiernach wird

$$n = \frac{a}{2L} = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}},$$

und wenn n_1 die Vibrationsmengen des nämlichen transversal schwingenden Stabes bezeichnet,

---

1 Mém. de l'Inst. sc. Phys. et math. T. VIII. p. 357. Die hierher gehörige Stelle p. 456. Vergl. Ann. Ch. Phys. T. XXXVI. p 337. Daraus in Poggendorff's Ann. XIII. 383.

Digitized by Google

$$n = \frac{\lambda^2\ \varepsilon}{4\pi\ L^2}\sqrt{\frac{5\,k}{2\,\varrho}}$$

Hierin ist λ das Volumen und ε die Dicke. Demnach findet Poisson

$$n_1 = (3{,}5608)\ \frac{\varepsilon}{2\,L}\sqrt{\frac{5k}{2\varrho}}$$

und

$$\frac{n_1}{n} = (3{,}5608)\ \frac{\varepsilon}{L}.$$

Savart prüfte dieses Resultat durch Versuche und fand, indem er den Stab, dessen Longitudinalschwingungen geprüft waren, für die transversalen um das Achtfache verkürzte:

1) für einen messingnen Stab

$L = \frac{1}{8}\ (0^m,825)$ $\varepsilon = 2^{mm},4$ $n = 34133$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2844$	$n_1 = 2829$	− 15

2) für einen Stab von Kupfer

$L = \frac{1}{8}\ (0^m, 825)$ $\varepsilon = 1^{mm},7$ $n = 36864$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 2133$	$n_1 = 2164$	+ 31

3) für einen Stab von Eisen

$L = \frac{1}{8}\ (0^m,88)$ $\varepsilon = 2^{mm},25$ $n = 45514$

Beobachtet	Berechnet	Unterschied
$n_1 = 3686$	$n_1 = 3683$	− 3

Auch W. Weber[1] hat das durch Poisson aufgestellte Theorem auf dem Wege der Erfahrung so weit bestätigt gefunden, als die Fehlergrenze bei Versuchen dieser Art gestattet.

20) Die Stäbe, deren Schwingungsgesetze bisher untersucht worden sind, wurden als gerade angenommen, mindestens ohne merkliche oder auffallende Krümmung. Sobald sie gekrümmt werden, ändert sich die Lage der Schwingungsknoten auf eine

1 Poggendorff's Ann. XIV. 175.

Digitized by Google

Weise, welche Chladni durch eine Vergleichung mit denen der geraden Stäbe anschaulich gemacht hat. Am leichtesten erhält man bei einem geraden Stabe einen Ton, wenn man
Fig. 40. denselben A B am einen Ende bei ungefähr nicht völlig dem vierten Theile seiner Länge in α oder β festhält und am kürzern Ende mit dem Bogen streicht, indem sich dann die beiden Schwingungsknoten α und β bilden. Wird dieser Stab in der Mitte gekrümmt, so nähern sich die Schwingungsknoten einander, wie die Zeichnung angiebt, bis beide Schenkel parallel werden, beide Schwingungsknoten fast zusammenfallen und man die *Stimmgabel* (*diapason*) erhält, indem man den Stab an der Krümmung mit einem Stiele versieht, um diesen festzuhalten und hauptsächlich durch das Aufstemmen desselben auf eine feste Unterlage den Ton stärker und klingender zu machen. Beide Schenkel schwingen dann isochronisch beim Vorhandenseyn eines einzigen bedeutend ausgedehnten Schwingungsknotens und die tiefere Tonhöhe verhält sich zu der des geraden Stabes wie 16 zu 25. Da aber die Tonhöhe eines Stabes mit einem einzigen Schwingungsknoten sich zu der mit zwei Schwingungsknoten wie 1 zu 2 verhält, so ergiebt sich hieraus, daſs beim Tönen einer Stimmgabel nicht ein genau in der Mitte liegender Schwingungsknoten vorhanden sey, sondern daſs man deren zwei annehmen müsse, die einander sehr nahe liegen. Dessen ungeachtet schwingt keineswegs jeder der beiden Schenkel für sich und unabhängig vom andern, vielmehr tönt keiner, wenn man den einen berührt, wird aber der eine in einem Schraubstocke festgeschraubt, so kommt ein tieferer Ton zum Vorschein, welcher durch die Länge und Gestalt des Stieles bedingt wird. In die Mitte zwischen die beiden Schwingungsknoten über dem Stiele kann kein neuer fallen, weswegen drei Schwingungsknoten, bei geraden Stäben so leicht zu erhalten, bei der Stimmgabel unmöglich sind. Bei dieser, auf welche das Vorhandenseyn des Stieles einen so bedeutenden Einfluſs ausübt, dürfte es schwer seyn, mehr als die bestehenden zwei Schwingungsknoten hervorzubringen, bei bloſs gekrümmten Stäben mit parallelen Schenkeln hat aber Chladni das Vorhandenseyn mehrerer aufgefunden, unter denen 4 am leichtesten er-
Fig. 41. halten werden, deren Lage in n, n′ und NN′, so wie die durch die Vibrationen entstehenden Curven durch die Figur versinn-

Digitized by Google

licht werden. Hiernach giebt es folgende einander zugehörige Gröſsen:

Zahl der Schwingungsknoten	2	4	5	6	7	8
Zugehörige Töne	c	$\overline{\overline{\text{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{fis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{d}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{gis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\text{cis}}}}}}$

Die Reihe der möglichen Töne scheint noch weiter fortzugehn, ihre Hervorbringung dürfte jedoch groſse Schwierigkeiten haben. Die hier angegebenen erhält man vermittelst vierkantiger Stäbe von Eisen, Messing oder einem sonstigen elastischen Körper, etwa 0,5 Zoll breit, die man im äuſsersten Schwingungsknoten locker zwischen den Finger hält und am Ende mit einem Violinbogen streicht.

Giebt man einem Stabe andere Krümmungen, als die eben beschriebene, so erhält man andere Töne, unter denen die eines Ringes zunächst Beachtung verdienen[1]. Dieser wird am besten aus etwas starkem Messingdrahte verfertigt, den man kreisförmig biegt und an den Enden mit Schlagloth sauber zusammenlöthet. Man legt ihn dann mit den Stellen, wo Schwingungsknoten hinfallen sollen, horizontal auf weiche Unterlagen von Kork, drückt ihn mit den Fingern nicht so stark an und streicht an einer Stelle, wo Schwingungsbogen hinfallen, in verticaler Richtung mit einem Violinbogen. Der Ring erhält hierbei allezeit eine gerade Anzahl von Schwingungsknoten, wie dieses aus der Natur der Sache folgt; denn bei einem Stabe sind die durch einen Schwingungsknoten von einander getrennten Schwingungen allezeit entgegengesetzt, mithin müſste, wenn ein Ring z. B. drei Schwingungsknoten in A, B und C hätte und sonach der Theil AB dem Theile Fig. 42.
BC entgegengesetzt vibrirte, der Theil AC beiden entgegengesetzt vibriren, was unmöglich ist. Chladni zeigt daher, daſs die Reihenfolge der Töne, welche L. Euler[2] und Golowin[3] für verschiedene Abtheilungen der Ringe theoretisch gefunden haben, mit der Erfahrung nicht übereinstimme, aus welcher vielmehr folgende zusammengehörige Gröſsen hervorgehn:

1 Vergl. Lexel über die Schwingungen eines Ringes in Acta Petrop. 1781. T. V. p. 185.

2 Nov. Comm. Pet. T. X. u. Acta Ac. Pet. Ann. 1779.

3 Acta Ac. Pet. 1781. P. II.

Digitized by Google

Zahl der Schwingungknoten	4	6	8	10	12	14
Töne	$\overline{c}$	$\overline{fis}$	$\overline{\overline{fis}}$	$\overline{\overline{\overline{dis}}}$	$\overline{\overline{\overline{a}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{dis}}}}$
Zahlen, mit deren Quadraten d. Töne übereinkommen	3	5	7	9	11	13

Die Untersuchung der Töne anderweitig gekrümmter, gleichmäſsig und ungleichmäſsig dicker Stäbe würde ein sehr weites Feld der Forschungen darbieten, jedoch ohne die Hoffnung eines zu erwartenden praktischen Nutzens.

c) Gespannte Membranen.

21) Die Untersuchung der Schwingungen gespannter Membranen dürfte unter allen akustischen Problemen die gröſsten Schwierigkeiten darbieten, wenn man die möglichen Arten theoretisch bestimmen und die erhaltenen Resultate durch die Erfahrung prüfen wollte; inzwischen würde die hierauf verwandte Mühe um so weniger belohnend seyn, als die in der Wirklichkeit vorkommenden ohne Zweifel sehr einfach sind. Sie finden sich nämlich bloſs bei den Trommeln und den Pauken, unter denen die erstere ohnehin von sehr untergeordneter Bedeutung ist. Allerdings hat auch diese eine schwingende Membrane, deren Vibrationen bei gleichmäſsiger Spannung gleichmäſsig und also einen eigentlichen Ton erzeugend seyn könnten, allein bei dem eigenthümlichen Baue und der Stimmungsart derselben ist diese gleichmäſsige Spannung schwerlich vorhanden, auſserdem aber haben zwar die sogenannten türkischen Trommeln nur eine einzige Membrane, dagegen aber einen ungleich weniger festen, vielfachen Beugungen ausgesetzten Ring, die gemeinen Trommeln aber haben zwei Membranen, deren Vibrationen nicht füglich ganz gleichmäſsig seyn können und daher einander stören, um so mehr, als die untere durch den Stimmriemen gedämpſt wird. Es ist diesemnach fraglich, ob man die Trommel noch unter die eigentlich tönenden, also musikalischen Instrumente rechnen könne oder ob sie nicht vielmehr bloſs zur Erzeugung von Lärm oder Geräusch diene. Allerdings nimmt das Ohr bei zwei verglichenen Trommeln eine Art von Unterschied der Höhe und

Digitized by Google

Tieſe wahr, allein wenn mehrere Trommeln in beliebiger Menge gleichzeitig geschlagen werden, die doch zuverläſsig nicht unison gestimmt seyn können, so hört doch das Ohr keine eigentliche Dissonanz, wie beim gleichzeitigen Tönen dissonirender Instrumente, und wollte man ihnen daher den Rang eines musikalischen Instruments beilegen, so stehn sie auf jeden Fall an der äuſsersten Grenze und sind wohl richtiger, hauptsächlich aus dem zuletzt angegebenen Grunde, davon auszuschlieſsen. Den Pauken dagegen kann man diesen Rang bei der deutlich wahrnehmbaren Verschiedenheit des Tones, worin sich die besseren mit bedeutender Reinheit stimmen lassen, nicht streitig machen und somit können auch ihre Schwingungsgesetze ein Gegenstand der Forschung werden.

22) Eine an beiden Enden gespannte Membrane von überwiegend gröſserer Länge als Breite schwingt nach Chladni's unbezweifelt richtiger Ansicht[1] einer gespannten Saite analog; es lassen sich daher in jener eben diejenigen Knotenlinien annehmen, die in dieser vorhanden sind, obgleich auch neben diesen, den Ton bedingenden, noch andere von verschiedenen Ordnungen auf gleiche Weise, als bei starren schwingenden Blechen und Stäben, vorhanden seyn mögen. Mit einem allseitig gleichmäſsig gespannten Paukenfelle, welches B gab, will Giordano Riccati[2] durch Erzeugung von eigenthümlichen Schwingungsknoten noch den Ton a und dann noch $\bar{e}$ erhalten haben, allein Chladni zeigt mit Recht, daſs die Schwingungen einer langen, an beiden Enden gespannten Membrane auf ein rundes, in seinem ganzen Umfange gespanntes Paukenfell keine Anwendung leiden. Nach seiner Ansicht kann letzteres bloſs eine diametral dasselbe schneidende Knotenlinie a b oder am leichtesten eine kreisrunde m n o, Fig. 43.
deren auch zwei und vielleicht sogar noch mehrere vorhanden seyn könnten, oder endlich diese beiden Arten mit einander verbunden erhalten. Allerdings kommen bei starren elastischen runden Scheiben nicht bloſs diese, sondern noch ungleich mehr zusammengesetzte Knotenlinien vor, allein bei diesen findet auch der wesentliche Unterschied statt, daſs der Umkreis eine freie Beweglichkeit hat, welcher beim Pauken-

1 Akustik S. 77.

2 Saggi scientif. e litterari dell' Accad. di Padova. T. I. p. 419.

felle gleichmäſsig geſpannt iſt. Sollte dann eine ſolche Knotenlinie, wie ab iſt, entſtehn, ſo müſste der Theil ec niederſteigend, cd aber gleichzeitig aufſteigend ſeyn und an dieſen Schwingungen müſsten beide Halbkreisflächen in der Art Antheil nehmen, daſs die Bewegungen jedes einzelnen Theiles vom Umkreiſe aus durch das Centrum nach dem gegenüberſtehenden Theile des Umkreiſes fortgingen, was mir deswegen unmöglich ſcheint, weil bei den an die Knotenlinie acb angrenzenden Theile, ſobald dieſe einmal als ruhend angenommen wird, abweichende Spannungsverhältniſſe vorhanden ſind. Nach meiner Anſicht ſind daher bei einem allſeitig gleichmäſsig geſpannten, in der Mitte durch einen Klöppel geſchlagenen Pauken- und Trommelfelle bloſs mit der Peripherie concentriſche Knotenlinien möglich, deren Zahl zugleich nicht groſs ſeyn dürfte.

23) Neuerdings hat Marx[1] die bisher bekannten Schwingungen geſpannter Membranen um eine Reihe neuer und intereſſanter vermehrt, die ſich mit der *Aeoline*, einem von ihm ſo benannten akuſtiſchen Inſtrumente, hervorbringen laſſen. Fig. 44. Dieſer Apparat beſteht aus einem etwa einzolligen Fuſsbrete AB, in deſſen Mitte ſich eine verticale, drei Linien weite, meſſingne Röhre befindet, die durch das Bret gehend mit dem elaſtiſchen Rohre ab verbunden iſt, deſſen Oeffnung auf die Duſe eines Blaſebalgs geſteckt wird. Der Durchmeſſer der Röhre iſt oben bis gegen 5 Lin. erweitert, am vortheilhafteſten ſoll es aber ſeyn, ſie oben 7 Lin. weit zu machen und mit einem 1,5 Lin. breiten ebenen Rande zu verſehn. Die Röhre geht ſehr läufig durch einen flachen meſſingnen Ring, welcher in drei an den Enden mit Stellſchrauben *a*, *a*, *a* verſehene Arme ausläuft, die mit dem Ringe eine dem Fuſsbrete faſt parallele Ebene bilden, indem die Stellſchrauben dazu dienen, den auf den Armen ruhenden hohlen Cylinder DD mehr oder weniger zu heben. Letzterer kann 3 bis 10 Zoll weit, aus Glas, Blech, Holz oder ſelbſt Pappe verfertigt ſeyn

1 Schweigger's Journ. LXV. 148. LXVI. 109. Die erſte Idee zur Conſtruction dieſes Apparates hat W. Weber bei Gelegenheit der Prüfung von Savart's Verſuchen angegeben, indem er gleichmäſsig dickes engliſches Briefpapier über einen Rahmen ſpannte und daſſelbe tönen hörte, wenn er bloſs leiſe dagegen blies. Schweigg. Journ. L. 184.

und hat oben eine über ihn gespannte Membrane, deren Ebene mit der Oeffnung der Röhre zur Berührung gebracht oder etwas über dieselbe gehoben werden kann, je nachdem man den Cylinder vermittelst der Schrauben etwas mehr hebt oder herabläſst, wodurch man zugleich auch diese Oeffnung genau unter die Mitte bringen oder ein wenig davon entfernen kann. Die einzige Art von Membranen, die sich nach Marx zur Erzeugung von Tönen eignen, sind die aus Cautchouck oder Federharz, die man bereitet, indem man eine Flasche dieser Substanz, von dunkler Farbe, möglichst gleichmäſsiger Dicke und mit wenigen oder gar keinen Einschnitten zuerst in warmem Wasser erweicht, dann 8 bis 16 Stunden in Aether liegen läſst (wobei es gut ist, den Hals gegen den Einfluſs des Aethers zu schützen, indem man ihn in Quecksilber tauchen läſst, welches sich unter dem Aether befindet) und zuletzt die Blase vermittelst einer Compressionspumpe zur Papieresdicke aufbläst. Die auf solche Weise bereitete und straff auf den Cylinder gebundene Blase wird der Mündung der genannten Röhre sehr nahe gebracht, indem man den Cylinder vermittelst der Stellschrauben mehr herabläſst, man kann aber auch die Duse des Blasebalges von oben herab gegen sie richten und in beiden Fällen kommen nach einander mehrere Töne, die um die Doppeloctave verschieden sind, nebst einigen zwischenliegenden zum Vorschein, zuweilen hört man auch zwei Töne zugleich. Die Töne hängen weniger von der Stärke des Luftstromes ab, als von der Stelle, wo dieser die Membrane trifft, weswegen sogleich der eine Ton in einen andern übergeht, sobald man die eine der Stellschrauben etwas dreht, wobei der Uebergang oft mit einem Schnarren verbunden ist. Die Töne sollen um so viel leichter erzeugt werden, je dünner und gleichmäſsiger die Membrane ist, und sollen denen der Clarinette gleichen[1].

---

1 Daſs auf die angegebene Weise die beschriebenen Töne zum Vorschein kommen, ist nicht wohl zu bezweifeln, denn Schnyder von Wartensee versichert (Schweigg. Journ. LXVI. 124.), daſs der physikalische Verein in Frankfurt sie bei der Wiederholung dieser Versuche sehr deutlich gehört habe. Da seitdem keine weitere Nachricht über diese Erweiterung der Akustik zu meiner Kenntniſs gekommen ist, so schien es mir nöthig, die Sache selbst genauer zu prüfen, allein das Resultat fiel nicht so befriedigend aus, daſs ich hoffen darf,

Wird während des Tönens feiner Sand auf die Membrane geſtreut, ſo kommen allerdings Figuren zum Vorschein, indem der Sand anhaltend in die Höhe hüpft und auf dieſe Weiſe endlich auf den Schwingungsknoten liegen bleibt, wobei nach Marx keine fortſchreitenden Wellen, wie bei den §. 17. beſchriebenen longitudinalen Schwingungen elaſtiſcher Stäbe, beobachtet werden. Dagegen ſollen ſich einige gerade Linien als Chorden zeigen, auch verſchiedene krumme Knotenlinien, deren Geſtalt jedoch zu wenig regelmäſsig iſt, als daſs ſie genau beſchrieben werden könnten, um ſo mehr, als

---

das neue Instrument werde den Beifall der Phyſiker erhalten. Ich lieſs mir eine Aeoline durch Albert in Frankfurt verfertigen, welcher den vorliegenden Thatſachen gemäſs gewiſs mit ihrer Conſtruction vertraut iſt, wonach die mitgetheilte Zeichnung nebſt Beſchreibung gemacht wurden; allein wie anhaltend auch mein Bemühen war, ſo konnte ich doch, auſser dem vom Erfinder erwähnten Schnarren, keinen Ton damit hervorbringen, ſelbſt nachdem ich die Mündung des Rohres mit der ſpäter angegebenen Vorrichtung verſehn hatte. Hierbei ſpannte ich die Haut von Federharz in den kleinſten Abſtufungen zunehmend ſtets ſtärker, bis ſie endlich nicht beim vorſichtigen Aufſpannen, ſondern während des ruhigen Stehens zerriſs. Dennoch bin ich überzeugt, daſs eine ſolche gut gerathene Membrane zum Tönen vorzüglich geeignet iſt, weil ſie die gleichmäſsigſte Spannung aller ihrer einzelnen Theile geſtattet, allein ihre Bereitung und Handhabung erfordert zu viele Vorſicht und Geſchicklichkeit und der Erfolg iſt dennoch zu unſicher, als daſs ein ſolcher Apparat ſich für die gewöhnlichen, in den phyſikaliſchen Cabinetten zur Demonſtration dienenden, eignen ſollte; als muſikaliſches Inſtrument iſt derſelbe aber auf keine Weiſe geeignet. Später lieſs ich mir auſser dem gläſernen hohlen Cylinder noch einen auf das Geſtell paſſenden von Weiſsblech und einen von Pappe verfertigen, überſpannte die beiden erſtern mit einer möglichſt gleichmäſsigen Thierblaſe, den letztern mit feinem Briefpapier. Letzterer gab nie etwas anderes, als das vom Erfinder beobachtete Brummen, ein ſtarkes ſchnarrendes Geräuſch oder beſſer Getöſe, der blecherne Cylinder dagegen war am geeignetſten, einen wirklichen, ſelbſt angenehmen Ton zu erzeugen. In oft wiederholten Verſuchen gelang es mir nämlich, mehrmals Töne zu erzeugen, die nach der durch die Witterung bedingten geringern oder ſtärkern Spannung der Blaſe höher oder tiefer waren. Entſtand ein ſolcher heller, vernehmlicher und ſelbſt wohlklingender Ton, ſo ging er durch geringe Verrückung von einer der Stellſchrauben ſchnell in einen etwas höhern oder tiefern über, jede ſtärkere Drehung derſelben machte den Ton verſchwinden oder verwandelte ihn in das ſchnarrende Geräuſch; nur äuſserſt ſelten ging er in einen bedeutend

der Sand auf den stets etwas rauh und klebrig bleibenden Membranen nicht leicht fortgleitet. Anfangs wollte es dem Erfinder dieser Phänomene nicht gelingen, vierkantige Membranen zum Tönen zu bringen, später aber vermochte er nicht bloſs dieses, sondern sah auch, daſs der Sand sich auf ihnen zu regelmäſsigen Knotenlinien ordnete. Eine weitere Verfolgung dieser Versuche könnte vielleicht über die noch sehr wenig genau erforschten Schwingungsgesetze gespannter Membranen mehr Licht verbreiten und Grundlage theoretischer Untersuchungen werden, die uns bis jetzt noch gänzlich fehlen, in-

---

höhern oder tiefern über, jedoch entstanden im Allgemeinen Töne, die um eine Decime und selbst einmal um etwa die Doppeloctave verschieden waren. Aufgestreuetes Lycopodiumpulver wurde durch alle Bebungen der Membrane stets zu kleinen Häufchen §. 32. vereint, feiner Sand dagegen gerieth durch die schnarrenden Töne und tonlosen Bebungen bloſs in hüpfende Bewegungen mit vorherrschender Neigung, nach dem Rande hin und selbst über diesen hinaus gestoſsen zu werden; einige Male glückte es mir jedoch, ganz eigentliche, hinlänglich kenntliche und scharf begrenzte Figuren zu erzeugen, deren Gestalt mit sehr geringen Abweichungen auf die in der Zeichnung mitgetheilten zurückkamen. Die Beobachtung scheint mir wichtig, weil sie die Fig.
eigentlichen Schwingungen gespannter Membranen deutlicher nach- 45.
weist und denen der durch eigene Steifheit elastischen Scheiben an- 46.
reiht. Solche kenntliche Figuren werden jedoch bloſs durch hell und u.
anhaltend klingende reine Töne erzeugt, gehören daher den mehr 47.
lärmenden Paukenfellen ohne Zweifel nicht an. Ihre Entstehung ist äuſserst schwierig, denn sobald die eigenthümliche Elasticität der schwingenden Membrane durch das unbedeutende Gewicht des aufgestreueten Sandes nur um das Geringste geändert wird, hört der Ton sogleich auf und kommt zuweilen nach dem Wegblasen des Sandes nicht wieder zum Vorschein. Ungleich leichter konnte ich Töne und Figuren durch Einblasen der Luft mit dem Munde als vermittelst des Blasebalges erzeugen, auch schien mir die Membrane leichter zu tönen, wenn ich mitten in dieselbe ein feines Loch mit einer Nähnadel machte, was bei einer derselben zufällig geschehn war.

Die schnarrenden Töne oder das schnarrende Geräusch entsteht sicher auf die nämliche Weise, als das erwähnte Pfeifen bei dem Versuche von Clement §. 4., die andern aber vermuthlich durch die Schwingungen, in welche die Membrane durch die aus der Röhre strömende und sich ausbreitende Luft versetzt wird, und diese würden sowohl wohlklingender, als auch leichter zu erzeugen seyn, wenn die vibrirende Membrane nicht gegen die Röhre stieſse, von welcher sie sich nicht weit entfernen darf, wenn ein Ton überhaupt entstehn soll.

Digitized by Google

dem das eigentliche Verhalten derselben durch die rücksichtlich des Calculs schätzbaren Abhandlungen von L. Euler[1] und Biot[2] über die Vibrationen gespannter rechtwinklig viereckiger Paukenfelle noch keineswegs genügend aufgeklärt worden ist, und es sogar noch fraglich bleibt, ob das Problem auf die von beiden versuchte Weise, wonach sie solche Membranen als eine Zusammensetzung rechtwinklig sich durchkreuzender Saiten betrachten, überhaupt gelöst werden kann. Weit wichtiger würde es seyn, einige von denjenigen Resultaten, zu denen Poisson in seiner mehrerwähnten Abhandlung gelangt ist, wie er selbst wünscht, durch die Erfahrung zu prüfen.

d) Elastische Scheiben.

24) Scheibenförmige, durch eigene Steifheit elastische Körper, mögen sie gerade oder gekrümmt seyn, lassen sich in regelmäſsige Schwingungen versetzen, wobei ganze Theile derselben, nicht einzelne Linien, sondern Flächen, vibriren, indem die zwischen diesen liegenden Theile von gröſserer oder geringerer Ausdehnung, sehr häufig bloſs schmale Streifen, ruhen, die also nicht einzelne Schwingungsknoten, sondern gerade oder krumme, einander vielfach durchkreuzende Knotenlinien bilden. Die letzteren werden im Allgemeinen auf eine solche Weise erzeugt, daſs sie die ganze gegebene Fläche mit sichtbar vorwaltender Symmetrie in eine gewisse Menge aliquoter Theile theilen, deren Schwingungen in Richtungen erfolgen, die theils perpendiculär auf die Knotenlinien, theils ihnen parallel sind. Die vorhandene Symmetrie ist hauptsächlich daraus ersichtlich, daſs die schwingenden Theile der ganzen Fläche einander so weit ähnlich sind, als die Gestalt der letztern erlaubt, woraus dann zugleich eine Aehnlichkeit der Knotenlinien folgt, und daſs die Durchmesser der zwischen zwei Knotenlinien liegenden schwingenden Flächen etwas über die doppelte Länge derjenigen betragen, die von den Knotenlinien bis an den Rand der Scheiben gehn. Man ersieht hieraus, daſs diese Erscheinungen im Ganzen auf dasjenige zurückkommen, was oben §. 20. über die Transversalschwin-

1 Nov. Comm. Petrop. T. X. p. 243.

2 Mém. de l'Instit. Sciences phys. et math. T. IV. p. 21.

Digitized by Google

gungen elastischer Stäbe und die Lage ihrer Schwingungsknoten, insbesondere, wenn diese bei eintretender Krümmung sich einander nähern, gesagt worden ist. Chladni ist ohne Widerrede der erste, welcher diese Erscheinungen aufgefunden und die dabei zum Grunde liegenden Gesetze untersucht hat[1], denn obgleich Biot[2] und einige andere den Galilei als Erfinder nennen, so ersieht man doch bei genauer Prüfung bald, daſs in der hierher gehörigen Stelle[3] bloſs von der hüpfenden Bewegung des Sandes auf metallenen Scheiben, die man durch Anschlagen zum Tönen bringt, die Rede ist.

Obgleich durch eigene Steifheit elastische scheibenförmige Körper nicht gerade durch ebene Flächen begrenzt seyn müssen, sondern auch gebogen, selbst bis zur Gestalt der Glocken gekrümmt seyn können und in allen diesen Gestalten auf ähnliche Weise schwingen, so betrachten wir doch hier vorläufig die geraden Scheiben, bei denen sich die Lage und Gestalt der Knotenlinien und der schwingenden Flächen, die durch transversale Schwingungen erzeugt werden, am besten nachweisen lassen. Die Scheiben können drei-, vier- und vieleckig, von geraden oder krummen oder auch beiden Arten von Linien begrenzt, regelmäſsig oder unregelmäſsig gestaltet, dicker oder dünner und von willkürlichen Substanzen seyn, jedoch ist ein gewisser Grad der Elasticität nothwendige Bedingung, weswegen pappene Scheiben sich nicht eignen, wenn sie nicht ungewöhnlich hart geleimt sind, hölzerne dagegen geben sehr kenntliche Figuren, metallene, hauptsächlich von harten Metallen, noch bessere, am passendsten aber sind gläserne. Letztere können zwar dick seyn, allein dann erhält man die Figuren minder leicht und nicht so scharf, auch findet Chladni das Spiegelglas nicht vorzüglicher, als gemeines Fensterglas, da die Flächen des erstern keineswegs stets genau parallel sind. Zur Anstellung dieser höchst interessanten Versuche, die sogar die Aufmerksamkeit Napoleon's so sehr reizten, daſs er sich dieselben durch den bis zur unglaublichen Fertigkeit hierin geübten Chladni zeigen lieſs, wählt man am besten dünne Scheiben von gemeinem Fensterglase, die so viel

1 Entdeckungen über die Theorie des Klanges. Leipz. 1787. 4.

2 Traité de Phys. T. II. p. 93.

3 In seinen Dialogen über Mechanik. Opp. di Galileo-Galilei. Pad. 1761. T. III. p. 50.

Digitized by Google

als möglich gleichmäſsig dick sind, schleiſt die nach dem Schneiden scharfen Karten auf einem Sandsteine rundlich und bedient sich zum Streichen eines gewöhnlichen Geigenbogens mit ungefähr halb so vielen Haaren, als die guten Bogen zu haben pflegen, und welcher vorher etwas stark auf Colophonium gestrichen ist. Die Scheiben werden zwischen dem Daumen und Mittelfinger mäſsig fest entweder ganz kunstlos oder besser so gehalten, daſs nur eine kleine Stelle durch die weichen Fingerspitzen berührt wird, ohne daſs eine sonstige Stelle irgendwo anliegt, auſser wo man absichtlich noch einen oder mehrere andere Schwingungsknoten zu erzeugen wünscht. Groſse Scheiben (Chladni wandte sie bis zum Durchmesser einer Dresdner Elle an) geben leichter zusammengesetzte Figuren, als kleine, und wenn man jene nicht mit den Fingern halten kann, so klemmt man sie in einem Gestelle fest, welches von Metall, füglich auch von Holz verfertigt vermittelst der Schraube a an einem Tische angeschraubt wird und die Scheibe zwischen dem Ende der Schraube *a* und der unter ihr befindlichen Stütze faſst, die beide nicht zu dick und mit einem weichen Ueberzuge von Kork, Leder oder Federharz versehn seyn müssen, wobei sich von selbst versteht, daſs in den Berührungspuncten der Scheibe Schwingungsknoten entstehn, also auf jeden Fall da, wo die Scheiben gehalten werden, und zugleich an allen den Stellen, wo man noch auſserdem dieselben mit der Fingerspitze oder einer sonstigen weichen Substanz berührt. Chladni[1] empfiehlt indeſs diese Vorrichtung nicht, sondern zieht es vor, die kleinern Scheiben mit den Fingern festzuhalten, die gröſsern in den Schwingungsknoten auf nicht breite, weiche Unterlagen, z. B. Stücke von elastischem Gummi (Kork), zu legen und oberhalb mit dem Finger zu drücken. Beim Streichen muſs der Bogen bei horizontaler Lage der Scheibe lothrecht gehalten werden und zugleich darf er nicht von der gestrichenen Stelle seitwärts gleiten; für tiefe Töne sind langsame Striche mit geringem Drucke, für hohe die entgegengesetzten am geeignetsten, allgemein aber erfordert das Erzeugen bestimmter Figuren einige Uebung, und man darf sicher annehmen, daſs bei einem deutlich vernehmbaren Tone auch jederzeit eine kenntliche Figur

Fig. 48.

1 Neue Beiträge zur Akustik. S. 40.

Digitized by Google

zum Vorschein kommt, die um so viel zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist, fehlt aber der eine, so bleibt auch die andere aus. Die Scheiben müssen vorher trocken abgerieben seyn, damit sie nicht klebrig sind, zum Aufſtreuen eignet sich aber am besten sehr feiner Quarzsand, den man vorher in Wasser schüttet und das schmuzige Wasser so lange abgieſst und mit frischem erneuert, bis es klar bleibt, wodurch der Sand vom beigemischten Staube gereinigt wird. Uebergieſst man nach Wheatstone[1] die Glasscheibe mit einer dünnen Schicht Wasser und streicht am Rande, so bilden sich sehr sichtbare gröſsere oder kleinere, in verschiedener Richtungen sich durchkreuzende Wellen, die ein interessantes Schauspiel darbieten, zur Erkennung der Schwingungsknoten aber weit weniger taugen, als die Sandfiguren.

25) Es ist bereits erwähnt worden, daſs die Gestalt der Scheiben auf die erzeugten Figuren einen bedeutenden Einfluſs ausübt, wie auch aus der Natur der Sache von selbst folgt, da die schwingenden Theile der Scheiben sich im Allgemeinen symmetrisch bilden und eine gegenseitig verhältniſsmäſsige Gröſse haben. Die Menge der möglichen Schallfiguren muſs daher in Folge der verschiedenen Gestalten der Scheiben sehr groſs seyn, allein es scheint fast unglaublich, daſs Chladni[2] die Zeichnungen von 90 solchen mitgetheilt hat, die bloſs auf einer quadratförmigen Scheibe gebildet wurden, und dennoch sind auch hierin noch nicht alle mögliche Combinationen enthalten, denn einst zeigte mir ein Dilettant, der sich zum Vergnügen mit diesem Gegenstande beschäftigte, eine Figur, die unter den genannten nicht enthalten ist, auch hat Savart[3] Zeichnungen von 76 verschiedenen, bloſs auf quadratischen Scheiben erzeugten, Figuren mitgetheilt, die man in dieser Art nicht sämmtlich in dem Werke von Chladni findet, und er glaubte auſserdem, daſs man noch mehrere andere auffinden könne und daſs es keine bestimmten Tonreihen gebe, die sich mit den nämlichen Scheiben hervorbringen lassen, sondern daſs bloſs der eigenthümliche Charakter der Arten, wie die Scheiben abgetheilt werden, unverändert bleibt. Es würde daher den

---

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 313.

2 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4.

3 Ann. Ch. Phys. XXXII. 384.

Digitized by Google

erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn ich die sämmtlichen bereits bekannten Figuren hier wiedergeben wollte, und ich begnüge mich daher, von den mit verschieden gestalteten Scheiben erhaltenen einige wenige mitzutheilen, welche vorzüglich geeignet sind, nachgemacht zu werden und den wichtigsten theoretischen Gesetzen zur Erläuterung zu dienen. Obgleich übrigens die Scheiben, ebenso wie die Stäbe, sowohl an einer Seite als auch an beiden befestigt oder angestemmt werden können und auch dann Figuren, wenn gleich minder scharfe, geben, so wird doch hier bloſs von freien die Rede seyn, indem dieses die einfachsten Fälle in sich begreift. Im Allgemeinen muſs man die zu erzeugende Figur entweder kennen oder sich dieselbe mindestens ungefähr vorstellen und ihre Gestalt wird dann, unter Voraussetzung einer symmetrischen Theilung der ganzen schwingenden Fläche durch die entstehenden Knotenlinien, hauptsächlich durch den Ort desjenigen Punctes bestimmt, in welchem man die Scheibe festhält, und derjenigen Puncte, wo man dieselbe gleichzeitig berührt, dann durch die Stelle, wo man dieselbe streicht, und endlich durch die verschiedene Schnelligkeit und Stärke des Bogenstriches. Will man die Figuren insgesammt rücksichtlich der erzeugten Töne und ihrer gegenseitigen Verhältnisse systematisch ordnen, so muſs man nach der Art, wie Chladni gethan hat, die Zahl der nach der einen Richtung laufenden und der sie durchkreuzenden Linien nebeneinander stellen, worüber später noch etwas gesagt werden soll, nachdem zuvor erst die Entstehungsart einiger einfachen Figuren auf quadratischen Scheiben angegeben worden ist.

26) Unter der Voraussetzung, daſs die quadratische Scheibe in hinlänglichem Grade gleichmäſsig dick sey, mithin die symmetrisch liegenden Theile gleichzeitig vibriren können,
Fig. 49. muſs ein Kreuz en, hc entstehn, wenn man dieselbe in der Mitte hält und nahe bei einer der vier Ecken streicht. In der Mitte nämlich ist die Bildung eines Knotenpunctes durch das Halten der Scheibe nothwendig bedingt; wird dann die eine Ecke durch das Streichen zum Vibriren gebracht, so geht hierbei ein beliebiges Theilchen herabwärts und das diametral gegenüberstehende aufwärts, so daſs vermittelst der Uebertragung dieser Wirkung auf die ganze Scheibe nothwendig die gezeichnete Figur entstehn muſs. Zuweilen nimmt sie jedoch

auch eine solche Gestalt an, daſs zwei Curven edh und cmn sich in der Mitte begegnen. Hält man die Scheibe an der nämlichen Stelle, streicht dagegen in der Mitte einer ihrer Seiten, so kann dahin kein Schwingungsknoten fallen, vielmehr wird sich die Knotenlinie aus der Mitte der Scheibe nach den Ecken hinziehn und man erhält ein liegendes Kreuz, Fig.
welches zuweilen aus zwei sich berührenden Curven cnd und 50.
emk besteht, auch kann man das erstere Kreuz in das letztere übergehn sehn, wenn man anfangs an der Ecke und dann allmälig bis zur Mitte der Scheibe den Bogen fortführend streicht. Beide Figuren gehören den tiefsten Tönen zu, deren die Scheibe fähig ist, weil die längsten Theile derselben in Schwingungen versetzt werden; auch lassen sich beide in eine einzige vereinigen, wenn man die Scheibe in der Mitte hält und am Rande zwischen der Mitte und der Ecke streicht. Faſst man die Scheibe in der Mitte der einen Seite nahe am Rande und streicht an der nächsten Ecke, so erscheint aus ähnlichen Ursachen ein dem Kreise sich näherndes Viereck mit abgestumpften Ecken, und es zeigt sich hierin der Uebergang von Fig.
den geraden Linien zu den krummen. Faſst man die Scheibe 51.
in etwas weniger als dem vierten Theile ihres Durchmessers, da wo die beiden Linien einander durchkreuzen, und streicht Fig.
in der Mitte, so theilt sie sich nach der einen Richtung in 52.
zwei gleiche Hälften, nach der andern in drei ungleiche Theile, deren mittlerer etwas mehr als die doppelte Gröſse der beiden äuſsern hat, weil bei der Bildung der beiden parallelen Knotenlinien die äuſsern und innern Theile als in diesen Linien befestigt und so schwingend zu betrachten sind, weswegen jene nur die Hälfte der Länge von diesen haben können. Rückt man den Punct des Haltens etwas seitwärts und streicht man in der Mitte der Scheibe oder an der linken Ecke, so verwandelt sich die Figur in drei die Tafel schräg durchschneidende krum- Fig.
me Linien; jedoch wird diese minder leicht als die vorige 53.
erzeugt. Beide Figuren werden doppelt, nämlich die erste, Fig.
wenn man die Scheibe an der Stelle hält, wo ein Paar der 54. u.
beiden Linien einander durchkreuzen, und in der Mitte einer 55.
der Seiten streicht, und die zweite, wenn man den Punct des Haltens etwas ändert und an der nächsten Ecke streicht. Auf gleiche Weise läſst sich leicht zeigen, wie die geradlinigen Figuren in die krummlinigen übergehn, ohne daſs die

Fig. 56. bis 58. Tonhöhen eine Aenderung erleiden. Man hält nämlich die Scheibe in dem mit m bezeichneten Puncte und streicht an der Stelle n, beide in der Mitte der Scheibe liegend, wonach also die Theile der Scheibe nach einer Richtung hin genau so schwingen, als vibrirende Stäbe; rückt man beide Stellen etwas seitwärts, so werden die Linien krumm, und nach einer nochmaligen unmerklichen Verrückung fallen sie zusammen. Soll auſser diesen noch eine Knotenlinie in der Mitte entstehn, Fig. 59. bis 61. so muſs die Scheibe im Durchkreuzungspuncte m gefaſst und in der Mitte bei n gestrichen werden, wobei die Abstände der Knotenlinien vom Rande sich aus dem früher Gesagten von selbst ergeben. Durch einige Verrückung der genannten Puncte oder noch leichter durch ein gelindes Anstemmen der einen Ecke verändert sich die Figur und geht allmälig in die beiden folgenden über. Eine andere verwandte Gruppe von Fig. 62. bis 64. Figuren erfordert um so mehr gleichmäſsige Scheiben, je mehr sie in einem höhern Grade zusammengesetzt ist. Sie theilt die Tafel nach einer Richtung in fünf, nach der andern in vier Theile durch parallele Linien und wird erhalten, wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte zweier äuſsersten Linien faſst und an der Seite zunächst diesem Puncte in der Mitte zwischen zwei parallelen Linien streicht. Die Figur geht in die folgende über, wenn man die eine Ecke, von welcher die diagonale Linie ausläuft, gegen einen Gegenstand stemmt; durch leichte Aenderungen erhält man alle sechs krumme Linien nach gleicher Richtung laufend.

Es folgt aus dem bisher Gesagten leicht, auf welche Weise man die Zahl der Linien bis zu 4 und 4 wechselseitig einander parallelen bringen kann, jedoch erfordert es schon eiFig. 65. nige Uebung, wenn man darauf rechnen will, sie mit einiger Sicherheit zu erhalten, insbesondere weil der Punct der Durchkreuzung, wo die Scheibe gehalten werden muſs, und die Stelle, wo sie gestrichen wird, auf einen genau bestimmten kleinen Raum beschränkt sind, indem die geraden Linien leicht in gekrümmte übergehn. Noch schwieriger ist die Verbindung Fig. 66. bis 68. mehrerer geraden Linien mit krummen, z. B. vier der ersten mit ebensovielen der letzten, wobei die Krümmungen gegen die geraden gerichtet sind, oder wo die gekrümmten die von den geraden gebildeten Felder einnehmen, desgleichen sechs einander entgegengesetzt gekrümmte, die von 3 geraden recht-

Digitized by Google

winklig geschnitten werden. Eine interessante Figur, die ent- Fig.
weder einfacher oder zusammengesetzter zum Vorschein kommt, 69.
wird leicht erhalten, wenn man eine etwas gröſsere Scheibe u. 70.
in der Mitte auf eine weiche Unterlage legt und mit einem aufgesetzten Finger festhält, dann gleichzeitig eine von den Stellen am Rande, von wo eine der krummen Linien ausläuft, mit dem Daumen berührt und an der Ecke streicht. Von den vielen durch Chladni dargestellten Figuren, die sich auf gleiche Weise durch die Menge als durch die symmetrische Anordnung der geraden und krummen Linien auf eine wunderbare Weise auszeichnen, theile ich der Merkwürdigkeit
wegen nur zwei mit, die eine für gerade, bloſs an ihren En- Fig.
den etwas gebogene, die andere für krumme Linien. Bei al- 71.
len diesen ist es räthlich und meistens sogar nothwendig, au- u. 72.
ſser der Stelle, wo die Scheibe gehalten wird, auch noch eine andere, wohin ein Knotenpunct fällt, gelinde zu berühren; auch muſs die Scheibe, mindestens für die letzte und einige ihr ähnliche Figuren, hinlänglich groſs seyn.

Ein gewisses Verhältniſs der Tonhöhen und der Figuren folgt insofern unmittelbar aus der Natur der Sache, als eine gröſsere Menge von Knotenlinien die tönende Scheibe in kleinere Theile theilt, die somit den kürzern Stäben analog auch schneller schwingen müssen, folglich auch höhere Töne erzeugen. Mit absoluter Genauigkeit ist zwar ein solches Verhältniſs noch nicht aufgefunden worden, welches die zusammengehörigen Figuren und Tonhöhen in gröſster Schärfe auszudrücken vermöchte, und die Ursache dieser Ungewiſsheit liegt ohne Zweifel in den Hindernissen, welche die physische Beschaffenheit der Scheibe, die Ausdehnung des Berührungspunctes und die Breite der gestrichenen Stelle einer scharfen geometrischen Construction entgegensetzen, allein Chladni hat dennoch aus seinen zahlreichen Versuchen ein im Allgemeinen passendes Gesetz aufgefunden. Um dieses übersichtlicher darzustellen, bezeichnet er die nach der einen und nach der andern Richtung fortlaufenden Knotenlinien ihrer Zahl nach durch die fortlaufenden Ziffern 1, 2, 3.... und zeichnet in die hierdurch gebildeten Fächer die relativen Schwingungsmengen nebst denjenigen Tönen, die hierdurch hervorgebracht werden. Der einfachste Ton, der hiernach erzeugt werden kann, da 1 und 0 keinen giebt (oder kein Ton dadurch er-

zeugt wird, daſs eine einzige Knotenlinie die Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt), ist der durch 1 und 1 bezeichnete, welcher dann entsteht, wenn zwei Knotenlinien einander durchkreuzen. Von diesem ausgehend hat Chladni die Töne bis zu 8 und 8 verfolgt. Hierbei nennt er den zu 1 und 1 gehörigen G, weil seine Schwingungen ihm das Product von 2 und 3 zu enthalten scheinen und hiernach dann die übrigen Töne besser in die gewöhnliche Tonleiter passen. In der hierdurch gebildeten Tafel sind die Töne und deren Bezeichnungen an sich klar, ebenso wie die Zahlen, welche die verhältniſsmäſsigen Schwingungsmengen angeben, und es verdient daher bloſs noch bemerkt zu werden, daſs die in Parenthesen eingeschlossenen Zahlen die vorher beschriebenen Figuren bezeichnen, die den erzeugten Tönen zugehören.

Digitized by Google

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen einer Quadratscheibe nach Beobachtungen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	—	G. 6							
2	d—. 9 / e. 10	h. 15	a. 27 / b. 28						
3	gis 25	h. 30 / c. 32	fis 45	c. 64					
4	gis 49	b. 55	cis 70 / d. 72	fis 90	b. 111				
5	e. 81	f. 84 / fis 91	gis 99	h. 120 / c. 128	dis 152	fis 180			
6	h. 120 / c. 125	c. 128	cis 140 / d. 144	e. 161	g. 190 / gis 198	b. 228	c. 260		
7	f. 169	fis 178	fis 180	gis 210 / a. 218	h. 240	cis 278 / d. 288	e. 324	fis 262	
8	224 / b. 230		h. 242 / c. 250	c. 260	d. 288 / dis 298	f. 338	g. 384 / gis 392	a. 434	h. 480

Chladni sucht hierbei noch ferner im Einzelnen zu zeigen, in welchem Verhältnisse die Tonhöhen und Mengen der Knotenlinien zu einander stehn, indem namentlich bei den Linien nach einer Richtung, also 2 und 0, 3 und 0 u. s. w., die Schwingungszahlen nach den Quadraten der ungeraden Zahlen 3, 5, 7, 9 u. s. w. zunehmen. Inzwischen läſst sich ein

solches Gesetz nicht in voller Allgemeinheit nachweisen, und es scheint mir daher angemessener, hier nicht ausführlicher darüber zu handeln[1].

27) Nicht quadratische rechtwinklige Scheiben unterscheiden sich von den quadratischen dadurch, daſs die Durchmesser nach der einen Richtung kleiner sind als nach der andern, bei der übrigens statt findenden Aehnlichkeit müssen daher auch die auf ihnen erzeugten Figuren einander ähnlich seyn, jedoch mit vorherrschender Neigung, die Anzahl der auf der schmaleren Seite erscheinenden Knotenlinien zu vermindern. Um den Einfluſs der wachsenden Ungleichheit beider Seitenlängen genauer zu erforschen, schnitt Chladni von einer bereits durch die angebenen Versuche geprüften quadratischen Scheibe einen aliquoten Theil so ab, daſs der eine Durchmesser unverändert blieb, der andere aber zunehmend kürzer wurde, und es fand sich, daſs dann zwischen den durch gleiche Mengen der Knotenlinien auf beiden erzeugten Tönen das nämliche Verhältniſs obwaltete. Zur allgemeinen Uebersicht wird es genügen, hier bloſs von einigen auf diese Weise veränderten Scheiben die gleichfalls verschiedenen Grundtöne und von zweien als Probe auch die übrigen Töne anzugeben. Wurde von der einen Seite der neunte Theil weggenommen, so daſs die Breiten sich wie 9 zu 8 verhielten, so verwandelte sich der tiefste Ton oder der Grundton aus G in A, und die übrigen Töne behielten gleichfalls das Verhältniſs der Quadrate von 3, 5, 7, 9 u. s. w. bei, waren jedoch etwas zu hoch; die entstandenen Figuren waren aber den vorigen ähnlich. Wurde die Scheibe so verändert, daſs sich die Durchmesser wie 6 zu 5 verhielten, so verwandelte sich der Grundton in B, die einfachern Verhältnisse der Töne für die durch 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. bezeichneten Figuren blieben gleichfalls den Quadraten von 3, 5, 7 u. s. w.

1 Eine ausführliche Abhandlung über die auf quadratischen Scheiben entstehenden Figuren, wenn man annimmt, daſs die zusammengesetzteren aus den einfachen durch Uebereinanderlegung derselben entstehn, hat neuerdings C. Wheatstone in Phil. Trans. 1833. P. II. p. 593. geliefert. Insbesondere sind die schönen Figuren ausgezeichnet, wodurch versinnlicht wird, welche nach der Theorie entstehn müſsten, und wie sie sich durch Verzerrung in der Wirklichkeit zeigen.

Digitized by Google

proportional, waren aber im Verhältnisse der Quadrate der Durchmesser höher. Inwiefern die entstehenden Töne von den gebildeten Figuren und den in ihnen befindlichen Knotenlinien abhängen, mithin ungleiche Figuren hiernach gleiche Töne geben, zugleich aber durch die Form der Scheiben eine Abänderung erleiden, zeigt der bloſse Anblick der Zeichnungen, wovon die erste und dritte Figur auch auf Fig. quadratischen Scheiben zum Vorschein kommen, die zweite 73. bis und vierte sich aber unter den durch Chladni mitgetheil- 76. ten quadratischen nicht finden.

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 6:5

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	$\overline{\text{a}}$ +	$\overline{\overline{\text{a}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$
1		B	$\overline{\text{d}}$	$\overline{\overline{\text{cis}}}$ +	$\overline{\overline{\text{h}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\text{g}}}}$ —
2	a +	$\overline{\text{e}}$	$\overline{\overline{\text{cis}}}$ +	$\overline{\overline{\text{a}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{e}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{b}}}}$
3	$\overline{\overline{\text{dis}}}$ +	$\overline{\overline{\text{fis}}}$	$\overline{\overline{\text{h}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\text{e}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{b}}}}$	
4	$\overline{\overline{\overline{\text{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{e}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{b}}}}$ +		

Verhältnisse der Knotenlinien und Tonhöhen bei einer Rectangulär-Scheibe beim Verhältnisse der Durchmesser = 5:4.

	0	1	2	3	4	5
0			dis +	$\overline{\text{a}}$ +	$\overline{\overline{\text{a}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$ +
1		H	$\overline{\text{dis}}$ —	$\overline{\overline{\text{d}}}$ +	$\overline{\overline{\text{h}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\text{g}}}}$ +
2	h +	$\overline{\text{f}}$ +	$\overline{\overline{\text{dis}}}$ —	$\overline{\overline{\text{b}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{h}}}}$
3	$\overline{\overline{\text{f}}}$ +	$\overline{\overline{\text{g}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\text{b}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{dis}}}}}$
4	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\text{f}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\text{gis}}}}$ —	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{c}}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{dis}}}}}$ +	$\overline{\overline{\overline{\overline{\text{gis}}}}}$

Digitized by Google

Fig. 77. bis 79. Inwiefern die Figuren, in denen die Verhältniſse der Knotenlinien 5 und 0, 4 und 1 vorkommen, in einander übergehn und die Gestalt der Scheiben auf ihre Bildung einen Einfluſs ausübt, ergiebt sich aus dem bloſsen Anblicke der drei gezeichneten, die insgesammt den nämlichen Ton geben. Ebendieses ergab sich auch bei Scheiben, deren Durchmesser sich wie 3:2 verhielten, indem die das Verhältniſs der Knoten-
Fig. 80. bis 82. linien 4 und 1, desgleichen 0 und 3 darstellenden in einander übergingen, die auch in einer andern Form zum Vorschein kommen, wobei die Beugungen den hier gezeichneten entgegengesetzt gerichtet sind. Verschiedene anderweitige Gesetze, welche Chladni noch für sonstige Verhältniſse der Durchmesser aufgefunden hat, übergehe ich hier, obwohl sie für das Ganze der Klanglehre nicht ohne Interesse sind. Wichtig dagegen sind die Resultate, welche derselbe über diese Schwingungsarten im Allgemeinen aufgefunden hat.

a) Die Schwingungen rectangulärer Scheiben, die durch Knotenlinien bloſs nach einer Richtung erzeugt werden, die also nach der gewählten Bezeichnungsart zu 2 und 0, 3 und 0, 4 und 0 u. s. w. gehören, behalten nicht bloſs das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w., sondern auch die absolute Menge der Schwingungen (als Ursache der entstehenden Töne) bei, die für schwingende Stäbe aufgefunden worden ist, woraus also hervorgeht, daſs sie nicht durch die Breite, sondern bloſs durch die Länge des schwingenden Rectangels bedingt werden.

b) Wenn bei einer solchen rectangulären Scheibe die Knotenlinien bloſs nach der Länge hin liegen, soweit die verminderte Breite dieses gestattet, worauf also nach der gewählten Bezeichnungsart die Ausdrücke 0 und 2, 0 und 3, 0 und 4 u. s. w. passen würden, so behalten die Schwingungen unter sich das Verhältniſs der Quadrate der Zahlen 3, 5, 7 u. s. w. bei, sind aber im umgekehrten Verhältniſse der Quadrate der Durchmesser höher. Dieses ist der Theorie insofern gemäſs, als die Töne dann unter dieser Bedingung ebenso von der Menge der nach der Länge hin sich erstreckenden Knotenlinien abhängen, als vorher von denen, die sich nach der Breite hin erstrecken.

c) Wenn eine nach einer Richtung gehende Knotenlinie von solchen durchschnitten wird, die nach einer andern gehn

wofür alſo die Bezeichnung 1 und 1, 1 und 2, 1 und 3 u. s. w. *gilt*, ſo kommen die Töne, die bei einer Quadratſcheibe im Verhältniſs 6, 15, 30 u. s. w. zu einander ſtehn (die aus der §. 26. mitgetheilten Tabelle erſichtlich ſind), dem Verhältniſſe 1, 2, 3 u. s. w. ſtets näher und gehn bei einem Verhältniſſe der Durchmeſſer von 8 : 1 wirklich dahin über.

Chladni fügt endlich noch die ſinnreiche Bemerkung hinzu, daſs die Schwingungen einer ſehr ſchmalen Rectangulärſcheibe, bei welcher eine nach der Länge gehende Knotenlinie durch mehrere nach der Breite laufende geſchnitten wird, genau mit den §. 19. erwähnten drehenden zuſammenfallen. Allerdings geht aus den bisherigen Unterſuchungen hervor, daſs, wenn bei einer rectangulären Scheibe cd die nach der Länge und ab die nach der Breite laufende Knotenlinie bezeichnet, bei den Schwingungen derſelben der Theil ad aufwärts, bd dagegen niederwärts geht und ſo in den beiden andern Theilen nach Angabe der Zeichen. Denkt man ſich dann dieſe Scheibe in einen quadratiſchen oder demnächſt auch runden Stab übergehend und dieſen in drehende Schwingungen verſetzt, ſo läſst ſich allerdings vorſtellen, daſs beide einander gleich wären. Inzwiſchen ſind die drehenden Schwingungen zu wenig bekannt, als daſs ſich mit Sicherheit ſolche in die Quere laufende Knotenlinien, als ab bei rectangulären Scheiben, auch bei ihnen annehmen lieſsen, und bei runden Stäben wird es ohnehin ſchwer, die hier angegebene Vorſtellung feſtzuhalten. Hierzu kommt noch das merkwürdige Verhältniſs, daſs bei einer quadratiſchen Scheibe der Ton, welcher zu 1 und 1 (nach der §. 26. mitgetheilten Tabelle) gehört, genau um eine Quinte tiefer iſt, als der zu 2 und 0 gehörige, und wollte man demnach dieſen letztern als den einfachſten durch longitudinale, und jenen erſten als den einfachſten durch drehende Schwingungen erzeugten betrachten, ſo ginge hieraus eine noch gröſsere Uebereinſtimmung hervor, da auch die Töne durch drehende Schwingungen bei einem runden Stabe eine Quinte tiefer ſind als die longitudinalen, beide bei einem freiſchwebenden, alſo in der Mitte mit einem einzigen Schwingungsknoten verſehenen Stabe genommen. Der Anblick der Figuren 63 und letzte iſt allerdings dieſer Vorſtellung günſtig, indeſs verdient dabei wohl erwogen zu werden, was §. 19. in Beziehung auf Poisson's theo-

Fig. 83.

Digitized by Google

retische Untersuchungen rücksichtlich dieser Tonverhältnisse gesagt worden ist.

28) Bei dem Einflusse, welchen die Gestalt der Scheiben auf die zu erzeugenden Figuren nothwendig haben muſs, würden die Untersuchungen kein Ende nehmen, wenn man alle diejenigen, die auf den verschiedenst gestalteten Scheiben entstehn können, und die bei ihrer Bildung zum Grunde liegenden Gesetze ins Einzelne verfolgen wollte, weswegen auch selbst Chladni sich dieser am Ende nicht genugsam belohnenden Mühe überhoben hat. Sind die Scheiben regelmäſsig gestaltet, so zeigen sich die entstehenden Figuren gleichfalls symmetrisch; fehlt aber jene Regelmäſsigkeit, so fällt auch die Symmetrie weg, wobei jedoch der Umstand bemerkt zu werden verdient, daſs bei Scheiben, von denen ein Stück abgebrochen ist, zuweilen bloſs derjenige Theil der Figur nicht erscheint, welcher dem fehlenden Theile der Scheibe zugehört, obgleich in andern Fällen die Figur auch im Ganzen ihre Gestalt verändert. Bei manchen unregelmäſsig gestalteten Scheiben kann es einiges Interesse haben, thatsächlich nachzuweisen, daſs sich auf ihnen nicht bloſs Figuren erzeugen lassen, sondern daſs diese auch mit den Formen der Scheiben correspondiren. Unter den regelmäſsig gestalteten hat Chladni namentlich die *gleichseitig dreieckigen* näher untersucht, und mögen daher auch hier einige der interessantesten von ihm aufgefundenen Figuren erwähnt werden. Den tiefsten Ton
Fig. erhält man, wenn drei Knotenlinien die Ecken der Scheibe
84. so abschneiden, daſs jede Seite in drei gleiche Theile getheilt
wird. Sie geht leicht in eine ihr verwandte über, wenn an
Fig. einer Seite die beiden Linien zusammenfallen. Nennt man
85. den auf diese Weise erhaltenen Ton eingestrichen c, so erhält
man einen andern, welcher etwas höher als cis ist, wenn die
Fig. zuletzt erhaltenen zwei Linien nach dem Innern zu gekrümmt
86. werden. Eine interessante und leicht zu erhaltende Figur ist
die, wobei die Knotenlinien von jeder Ecke aus nach der
Fig. Mitte der gegenüberliegenden Seite laufen, deren jede also die
87. Scheibe in zwei gleiche Hälften theilt. Sie wird erhalten,
wenn man die Scheibe im Durchschnittspuncte der drei Linien festhält und im vierten Theile der Seite streicht, der erzeugte Ton ist ungefähr f. Die erste der genannten Figuren
Fig. und die letzte werden in einer einzigen vereint und geben
88. dann dreigestrichen b. Ebendiese Figur zeigt sich auch in

Digitized by Google

andern ähnlichen Gestalten, die dem nämlichen Tone zugehören. Endlich möge noch diejenige Figur erwähnt werden, welche die meisten Linien enthält, den verhältniſsmäſsig höch- Fig.
sten Ton, nämlich viergestrichen g, giebt und auſserdem durch 89.
Zusammensetzung von 4 Scheiben, auf deren jeder die Figur 87 vorhanden ist, gebildet werden kann, und um auch von den krummlinigen einige namhaft zu machen, wähle ich die Fig.
beiden, die rücksichtlich des Tones gerade um eine Octave 90.
verschieden sind, indem die erste dreigestrichen, die zweite u. 91.
aber viergestrichen *dis* giebt.

29) Die *gleichseitig sechseckigen* Scheiben gleichen rücksichtlich der auf ihnen zu erzeugenden Figuren sehr den runden, und Chladni hat sie daher auf gleiche Weise dadurch bezeichnet, daſs er die gerade durchgehenden Linien von den gekrümmten unterscheidet. Die Art ihrer Erzeugung bezeichnet er bloſs im Allgemeinen durch die Wiederholung der Regel, daſs man die Scheibe an der Stelle halten müsse, wo sich die meisten Knotenlinien schneiden, oder wo ein solcher Punct nicht vorhanden ist, in einer der Linien selbst, wobei es oft nöthig ist, noch eine andere Stelle der Knotenlinie oder einen Punct der Durchkreuzung mehrerer mit einem Finger zu berühren; das Streichen aber geschieht an einer dem Haltungspuncte nahe liegenden schwingenden Stelle, insbesondere da, wo die Knotenlinie eine Einbiegung hat. Den tiefsten Ton giebt diejenige Figur, wobei die Scheibe vermuthlich ge- Fig.
nau so, wie eine quadratische, schwingt. Zur Vergleichung 92.
mit den übrigen nennt Chladni diesen Ton ungestrichen c, wollte man aber die theoretischen Untersuchungen durch die Erfahrung prüfen, so würde es nicht überflüssig seyn, eine quadratische Scheibe durch Wegnahme der Ecken in eine sechseckige zu verwandeln und die Töne beider, die dieser nämlichen Figur zugehören, mit einander zu vergleichen. Die Zahl der vom Mittelpuncte aus sich durchkreuzenden Linien kann vielfach vermehrt werden, indeſs finde ich ihre Zahl nicht gröſser als sechs ganze, die also einen Stern von 12 Fig.
Spitzen bilden, der am Ende noch durch ein Sechseck oder 93. u.
einen Kreis umgeben seyn kann; die erstere giebt dreigestri- 94.
chen d, die letztere viergestrichen g, und diese ist wohl die am meisten zusammengesetzte unter allen, wenn sie hierin nicht von derjenigen übertroffen wird, welche die meisten krummen Fig. 95.

Linien enthält, aber den nämlichen Ton giebt. Chladni theilt im Ganzen 30 auf solchen gleichseitig sechseckigen Scheiben erzeugte Figuren mit, wovon ich jedoch mich begnüge,
Fig. 96. nur noch die einfachste krummlinige zu erwähnen, welche den Ton b giebt und mehrfach verändert werden kann, insofern der Kreis die elliptische Gestalt annimmt und durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien geschnitten wird. Sonstige vieleckige Scheiben hat Chladni theils nicht untersucht, theils die Resultate seiner Erfahrungen nicht mitgetheilt, und man wird daher auch hier keine weitere Fortsetzung dieser mühsamen und schwierigen Untersuchungen erwarten.

30) Das meiste Interesse, auſser den rectangulären, gewähren die runden Scheiben wegen der Mannigfaltigkeit und Schönheit der auf ihnen erscheinenden Figuren. Um bei ihrer Vergleichung mit der Höhe der erzeugten Töne von einer festern Grundlage auszugehn, unterscheidet Chladni die durchgehenden Linien von den concentrischen kreisförmigen und bezeichnet die Zahl der erstern mit arabischen, der letztern mit römischen Ziffern; es wird indeſs hier genügen, bloſs einige der interessantesten aufzunehmen. Am leichtesten erhält man die ganz durchgehenden in der Mitte sich durchkreuzenden
Fig. 97. bis 100. den Linien, deren Zahl von zwei bis fünf ganzen zunimmt, die also vier- bis zehnspitzige Sterne bilden. Man erzeugt sie insgesammt, indem man die Scheibe in der Mitte festhält und sie zugleich an noch einer Stelle, wohin eine Knotenlinie fallen soll, mit einem Finger berührt, dann in der Mitte zwischen zwei Spitzen streicht. Ihre Bezeichnung ist dann von 2 und 0 bis 5 und 0, die Tonverhältnisse zeigt die unten folgende Tabelle, und es ist dabei nur noch zu bemerken, daſs man die haltenden Finger etwas mehr aus der Mitte rückt, je gröſser die Zahl der durchgehenden Linien werden soll, weil in diesem Verhältnisse der ruhende Raum in der Mitte gröſser wird. Die Zahl der durchgehenden Linien läſst sich übrigens noch vermehren, namentlich den Versuchen gemäſs bis zu 8, wobei zugleich merkwürdig ist, wie die geraden Linien durch Verzerrung in krumme übergehn, indem die
Fig. 101. u. 102. beiden krummlinigen Figuren der Zeichnung nichts anders als Verzerrungen der Sterne mit 10 und mit 16 Spitzen sind, wie die Tonhöhe angiebt und auch aus dem Anblicke der Figu-

ren ersehn wird. Auch bei den runden Scheiben giebt die durch 2 und 0 bezeichnete Figur den tiefsten Ton, wofür Chladni die Bezeichnung C gewählt hat. Unter den krummlinigen Figuren ist diejenige die einfachste, die aus einem mit dem Rande der Scheibe concentrischen Kreise besteht; sie Fig. 103. wird leicht erhalten, wenn man die Scheibe in einem Puncte der Kreislinie mit spitzigen Fingern hält und ungefähr unter diesem Puncte am Rande langsam und etwas stark streicht. Unter den von Chladni mitgetheilten Zeichnungen finde ich diejenige Figur nicht, welche leicht entsteht, nämlich wenn der Kreis in ein Oval übergeht; dagegen wird bemerkt, daſs der angegebene Kreis oft durch eine oder mehrere im Mittelpuncte sich durchkreuzende Linien durchschnitten wird. Da man sich dieses leicht vorstellen kann, so überhebe ich mich der Mühe, die Sache durch Zeichnungen zu versinnlichen, und bemerke bloſs, daſs die durchschneidenden Linien von 1 bis 4 wirklich erhalten worden sind, wobei jedoch der Kreis um so viel weiter aus der Mitte rückt, je gröſser die Zahl dieser Linien wird, und daher bei vier solchen Linien nur ungefähr halb so weit vom Rande absteht, als wenn er durch gar keine Linie geschnitten wird. Ebendieses Hinausrücken ist der Fall, wenn sich noch ein kleinerer concentrischer Kreis erzeugt, wobei entweder beide Kreise allein vorhanden oder gleichfalls von einer bis zwei sich durchkreuzenden Linien durchschnitten seyn können. Der innere Kreis wird kleiner und es entsteht dann noch ein zweiter und vermuthlich ist selbst noch ein dritter möglich; das Verhältniſs dreier, von einer geraden Linie durchschnittener, versinnlicht die Zeichnung. Fig. 104. Der innere Kreis scheint nach den durch Chladni mitgetheilten Figuren zu schlieſsen einige Verzerrung zu erleiden, aber nie in eine eigentliche schlangenförmig gewundene Linie überzugehn, was bei einem oder den mehreren äuſsern leicht der Fall ist. Indem aber auſserdem auch die geraden durchgehenden Linien gebogen werden, so begreift man leicht, daſs hiernach vielfach verschieden gestaltete Figuren zum Vorschein kommen müssen, zu deren Versinnlichung ich aus vielen bloſs zwei der am meisten zusammengesetzten hier mittheile. Fig. 105. u. 106.

Rücksichtlich des Hervorbringens der hier erwähnten Figuren ist noch zu bemerken, daſs man den einen Kreis mit der ihn durchschneidenden einen Linie leicht hervorbringt, wenn

Digitized by Google

man die Scheibe in einem Durchschnittspuncte beider hält und in etwa 90° Abstand von diesem Puncte streicht; um aber mehrere dieser Linien zu erhalten, wird die Scheibe auſserdem an den Stellen, wohin diese fallen sollen, leicht berührt und mitten zwischen den Enden zweier Linien gestrichen. Unter die schwierigsten Figuren gehören die concentrischen Kreise ohne gerade Linien, so wie überhaupt alle Figuren, worin sich keine Linien schneiden. Um mehrere Kreise zu erhalten, wird die Scheibe in einem Puncte des einen Kreises mit sehr spitzigen Fingern gehalten, in einem Puncte des zweiten oder eines der übrigen mit einem Finger berührt und unter der gehaltenen Stelle gestrichen; geschieht dieses in einiger, bis 90° zunehmender Entfernung, so entsteht eine und auch wohl mehrere durchgehende gerade Linien, auch muſs der Abstand der Kreise von einander insofern richtig gewählt seyn, daſs ein gehöriges Verhältniſs der Längen der zwischenliegenden und der nach dem Rande hin sich erstreckenden Theile in der Art statt findet, wie dieses bereits bei transversal schwingenden Stäben angegeben worden ist, woraus dann von selbst folgt, daſs durch die Erzeugung eines zweiten Kreises aus diesem richtigen Abstande die Menge der übrigen gleichzeitig entstehenden von selbst folgt. Die gebogenen Kreise entstehn leicht von selbst, wenn man die einfachen zu erzeugen beabsichtigt, überhaupt ist die Mannigfaltigkeit der Figuren, die sich bloſs zufällig zeigen, wenn man mit geeigneten Scheiben Töne hervorzubringen versucht, sehr groſs, wie sich aus der Menge derjenigen ergiebt, welche Chladni in seinen Schriften, namentlich in: *Entdeckungen über die Theorie des Klanges*, abgebildet hat, und es ist dabei hauptsächlich nur erforderlich, einen ansprechenden Ton festzuhalten und deutlich zu erzeugen. Das Verhältniſs der Figuren und der erzeugten Töne rücksichtlich der Zahl der gerade durchgehenden und der kreisförmigen Linien zeigt die nachfolgende Tabelle, worin die römischen Zahlen die Menge der Kreise, die arabischen Ziffern aber die der geraden Linien bezeichnen.

Digitized by Google

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0			C	d	$\overline{\mathrm{c}}$	$\overline{\mathrm{g}}$	$\overline{\overline{\mathrm{cis}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{fis}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$
I	gis	b	$\overline{\mathrm{g}}$	$\overline{\overline{\mathrm{d}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{gis}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{e}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	
II	$\overline{\mathrm{gis}}$	$\overline{\overline{\mathrm{e}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{cis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	
III	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{e}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{gis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{c}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{fis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{gis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{b}}}}}$	
IV	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{a}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{cis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{f}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{b}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{c}}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{cis}}}}}}$		
V	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{f}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{gis}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{cis}}}}}}$					
VI	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{e}}}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{f}}}}}}$					
VII	$\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{e}}}}}}$								

Als ein interessantes Endresultat der Untersuchungen hat Chladni für runde Scheiben aufgefunden, daſs für eine Anzahl von kreisförmigen Linien = K und von durchgehenden Linien = L das Verhältniſs der Töne durch $(L + 2K)^2$ ausgedrückt wird, wenn man kleine Abweichungen, wonach einige Töne vermuthlich in Folge nicht streng gleichmäſsiger Dicke und absolut runder Form der Scheiben etwas höher oder tiefer ausfallen, nicht in Anschlag bringt.

Auch die runden Scheiben kann man anstemmen und auf diese Weise veränderte Figuren erzeugen, deren Untersuchung mir aber die Wissenschaft nicht zu fördern scheint, weswegen ich die Sache hier nur beiläufig erwähne.

31) Das Verhalten elliptischer Scheiben, deren Untersuchung groſses Interesse gewährt, muſs der Natur der Sache nach von ihrer Excentricität abhängen, indem diejenigen, bei denen die beiden Brennpuncte nur wenig von einander ab-

Digitized by Google

ſtehn, faſt genau mit den runden übereinkommen, dann aber ſich ſtets mehr den rectangulären nähern, je gröſser der Abſtand beider Brennpuncte von einander wird. Zur leichtern Ueberſicht unterſcheidet Chladni die in der Richtung der Axe gehenden Linien als Längenlinien, ſie mögen gerade oder gekrümmt ſeyn, ſo daſs alſo eine dem Rande genau oder nahe genau parallel laufende Linie für zwei der Länge nach gehende gilt, und die die groſse Axe ſchneidenden als Querlinien, bei ihrer Zuſammenſtellung aber ſetzt er die letztern voran, wonach alſo 1 und 2 eine Figur bezeichnen würde, worin ſich eine Querlinie und zwei Längenlinien befinden. Hiernach laſſen ſich die Figuren leicht ordnen, und das Verfahren, wodurch man dieſelbe erzeugt, folgt im Allgemeinen aus den bisher mitgetheilten Vorſchriften. Sollen alſo die Figuren mit bloſsen Querlinien oder die durch 2 und 0, 3 und 0 u. ſ. w. bezeichneten zum Vorſchein kommen, ſo hält man die Scheibe in der Mitte der einen äuſserſten Linie, ſetzt bei mehrern noch einen Finger in die Mitte einer der folgenden auf und ſtreicht unter dem gehaltenen Puncte möglichſt nahe am Ende der groſsen Axe. Die Reihe der Figuren mit mehrern Querlinien und einer in der Mitte ſie ſchneidenden Längenlinie von der Bezeichnung 1 und 1, 2 und 1, 3 und 1 u. ſ. w. wird auf gleiche Weiſe erzeugt, indem man die Scheibe im Durchſchnittspuncte der äuſserſten Querlinie und Längenlinie hält, bei mehreren zugleich im nächſtfolgenden Durchſchnittspuncte einen Finger aufſetzt und mitten zwiſchen den Enden der erſtern beiden Linien ſtreicht. Die ſo entſtehenden Töne ſind klingender, als die vorhergehenden, weil die Schwingungen durch das Streichen weniger gehindert werden. Sollen diejenigen Figuren erzeugt werden, bei denen eine innere Ellipſe allein vorhanden iſt oder durch Querlinien allein oder durch noch eine Längenlinie oder durch dieſe und noch Querlinien geſchnitten wird, ſo verfährt man auf ganz gleiche Weiſe. Zur Verſinnlichung dieſer einander ſehr ähnlichen Figuren theile ich bloſs die Zeichnungen derjenigen mit, die durch 0 und 2, 1 und 2, 0 und 3, 1 und 3, 2 und 3, 3 und 3, 4 und 3, 5 und 3 bezeichnet werden. Bei allen dieſen faſst man die Scheibe am beſten im Durchſchnittspuncte der inneren Ellipſe mit der groſsen Axe, erleichtert das Entſtehn der folgenden Querlinien durch Aufſetzen eines

Fig. 107. bis 110. Fig. 111. bis 115. Fig. 116. bis 123.

Fingers und ſtreicht zwiſchen den beiden Enden derjenigen Linien, die ſich im Haltungspuncte durchkreuzen. Auch bei dieſen Figuren rückt die innere Ellipſe dem Rande der Scheibe näher, wenn mehrere Querlinien vorhanden ſind.

Das Verhältniſs der groſsen Axe zur kleinen kann ſehr verſchieden ſeyn, und es iſt ſchon bemerkt worden, daſs hiernach das Verhalten der Scheiben entweder mit dem der runden übereinkommt, oder ſich mehr dem der länglich rectangulären nähert. Chladni hat indeſs aufgefunden, daſs die Verhältniſſe 5:3, 8:3, 11:3, überhaupt $5 + 3n:3$, worin n ſowohl $= 0$ als auch irgend eine ganze Zahl ſeyn kann, unter die merkwürdigſten gehören. Es findet hierbei nämlich das Geſetz ſtatt, daſs bei allen dieſen Scheiben, wenn Q die Zahl der Querlinien und L die der Längenlinien bezeichnen, die Töne einander gleich ſind, wenn $Q + (n + 2) L$ dieſelbe Summe giebt. Um hierüber Gewiſsheit zu erlangen, wurden die Tonverhältniſſe nicht bloſs an vielen, ſondern auch an vorzüglich groſsen elliptiſchen Scheiben von ungleichen Excentricitäten von ihm unterſucht. Von den vielen hiernach erhaltenen Reſultaten theile ich bloſs die Tonverhältniſſe zweier Scheiben mit, bei denen dieſes Geſetz in Anwendung kommt und deren Töne auſserdem mit denen einer runden Scheibe verglichen worden ſind. Wenn nämlich eine runde Scheibe diejenigen Tonverhältniſſe zeigt, die in der eben hierüber mitgetheilten Tabelle aufgezeichnet ſind, ſo giebt ſie in eine elliptiſche verwandelt, deren Durchmeſſer ſich wie 5:3 verhalten, die folgenden, wobei die in der erſten verticalen Columne enthaltenen Zahlen die Menge der nach der Länge laufenden Linien (eine Ellipſe für 2 gerechnet) bezeichnen, die in der obern horizontalen aber die Querlinien.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	$\bar{f}$	$\bar{\bar{cis}}$	$\bar{\bar{g}}$			
1		Gis	a	$\bar{g}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{gis}}$	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$
2	a	$\bar{g}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{gis}}$	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$		
3	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{gis}}$	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$				
4	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$						
5	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$								

Man überſieht bald die hier vorkommenden gleichen Töne; zu mehrerer Deutlichkeit aber ſtelle ich die Zahl der Querlinien = Q und der Längenlinien = L (dieſe letzteren einfach, ſo daſs ſie alſo doppelt genommen werden müſſen, um $S = Q + 2L$ zu erhalten) zuſammen und ſetze unter dieſe die Töne, die hiernach durch die verſchiedenen Combinationen gleichartig erhalten werden.

	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	2 + 1	3 + 1	4 + 1	5 + 1	6 + 1	7 + 1	8 + 1	9 + 1
	0 + 2	1 + 2	2 + 2	3 + 2	4 + 2	5 + 2	6 + 2	7 + 2
			0 + 3	1 + 3	2 + 3	3 + 3	4 + 3	5 + 3
					0 + 4	1 + 4	2 + 4	3 + 4
							0 + 5	1 + 5
S =	4	5	6	7	8	9	10	11
T =	a	$\bar{g}$	$\bar{\bar{d}}$	$\bar{\bar{gis}}$	$\bar{\bar{\bar{cis}}}$	$\bar{\bar{\bar{f}}}$	$\bar{\bar{\bar{a}}}$	$\bar{\bar{\bar{\bar{c}}}}$

Unter den vielen andern, durch Chladni unterſuchten Verhältniſſen theile ich nur noch das von 8:3 mit, und wiederhole die Bemerkung, daſs auch hierbei die Angaben ſich auf die oben mitgetheilten Tonverhältniſſe einer runden Scheibe beziehen, indem angenommen wird, daſs eine ſolche in eine elliptiſche von dem angegebenen Axenverhältniſſe verwan-

Digitized by Google

delt werde. Uebrigens bleiben die Bezeichnungen die nämlichen.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0			Dis	g	$\overline{\mathrm{fis}}$	d				
1		d	$\overline{\mathrm{d}}$	$\overline{\mathrm{h}}$	$\overline{\overline{\mathrm{f}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}$
2	$\overline{\mathrm{h}}$	$\overline{\overline{\mathrm{f}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}$			
3	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}$						
4	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}$									

Hierin geben also folgende Combinationen nach der Formel $S = Q + 3L$ gleiche Töne:

	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.	Q. L.
	3+1 0+2	4+1 1+2	5+1 2+2	6+1 3+2 0+3	7+1 4+2 1+3	8+1 5+2 2+3	9+1 6+2 3+3 0+4
S =	6	7	8	9	10	11	12
T =	$\overline{\mathrm{h}}$	$\overline{\overline{\mathrm{f}}}$	$\overline{\overline{\mathrm{b}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{dis}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{g}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\mathrm{h}}}}$	$\overline{\overline{\overline{\overline{\mathrm{d}}}}}$

Auch auf halbrunden Scheiben kommen Figuren zum Vorschein, die im Ganzen von der Art sind, daſs sie die auf einer runden erzeugten bilden, wenn man deren zwei zusammensetzt, welches auch bei solchen meistens der Fall ist, die bloſs einen Kreissector ausmachen. Chladni hat auch diese genauer untersucht und ihre Tonverhältnisse bestimmt, es scheint mir jedoch unnöthig, hierüber mehr ins Einzelne einzugehn.

31) Praktische Anwendungen der durch eigene Steifheit elastischen und hiernach tönenden Scheiben giebt es in der Musik nur wenige. Als solche sind hauptsächlich die *Becken*

Digitized by Google

(*cymbales*) zu nennen, flache Teller mit einem Buckel in der Mitte, wo sich ein Riemen zum Halten derselben befindet, und die man bei der Militärmusik (sogenannten türkischen Musik) und in lärmenden Opernstücken anzuwenden pflegt. Sie sind von Messing oder einer andern, der Glockenspeiſe ähnlichen Legirung von Kupfer, selten bei hohem Luxus von Silber. Wenn sie dünn sind, geben sie keinen eigentlichen oder einen nicht genau bestimmbaren Ton, sondern erzeugen ein bloſses Geräusch und dienen also, wie die Trommeln, bloſs zur Vermehrung des Getöses, dicker und elastischer laſsen sie sich durch Abnehmen des Randes höher auf einen bestimmten nicht übel klingenden Ton stimmen[1]. Vieles Aufsehn erregte seit mehrern Jahren ein aus China gebrachtes Instrument, *Tam-Tam* oder *Gong-Gong*[2], welches sich durch seine auſserordentliche Sprödigkeit und groſses spec. Gewicht auszeichnet; auch kann man dasselbe in Europa nicht nachmachen, da die Chinesen die Art der Verfertigung geheim halten. Chladni[3] sah solche ächte Instrumente zuerst zu Dresden, später zu Kopenhagen und Paris; an letzterem Orte sah ich gleichfalls das schöne Exemplar im *Conservatoire des arts*. Es gleicht einem schlechten kupfernen Deckel, hat ungefähr 1,5 Fuſs im Durchmesser, einen etwas über einen Zoll hohen, nicht scharf umgebogenen Rand, wird an einem Bande, welches durch zwei Löcher im Rande gezogen ist, freischwebend gehalten und mit einem Klöppel, an dessen Ende sich ein über eine Faust dicker, mit Leder überzogener, fest gepolsterter Knauf befindet, in der Mitte stark geschlagen und erzeugt dann einen furchtbar hell klingenden, zuletzt etwas rasselnden Ton, von einer Stärke und Dauer, daſs er wahrhaftes Erstaunen erregt. Die Ursache hiervon ist vermuthlich in dem hohen Grade der Sprödigkeit zu suchen, die diesem Metallgemische eigen ist, die aber mit einer unverhältniſsmäſsigen Zähigkeit durch die eigenthümliche Bearbeitungsart verbunden wird, wie man aus seinem groſsen spec. Gewichte schlieſsen muſs[4]. Auſserdem giebt es in China ein musika-

1 Vergl. Paradisi über Schwingungen elastischer Bleche in Memorie dell' Instituto nationale Italiano. T. I. part. 2.

2 S. diesen Art. Bd. IV. S. 1612.

3 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

4 Nach der Angabe von Biot Traité de Phys. T. II. p. 185. hat

liſches Instrument, *King* genannt, welches nach Chladni[1] aus etwa 16 Stücken Glas oder einer glasigen schwarzen Steinart von der Form der Zeichnung besteht. In einem jeden befindet sich im Durchschnittspuncte n der beiden Linien, welche eb und dc halbiren und mit den Seiten parallel laufen, ein Loch, wo die Scheibe aufgehangen und im Puncte g mit einem Klöppel geschlagen wird. Das Loch befindet sich allezeit im Schwingungsknoten, auſserdem aber hatten später von Chladni[2] gesehene Scheiben die Gestalt eines Wallfisches oder eines Drachen, mit vielen eingeschnittenen Figuren, woraus hervorgeht, daſs die Gestalt nicht wesentlich ist. Fig. 124.

32) Bei der bisherigen Darstellung der Schwingungsgesetze elastischer Scheiben bin ich demjenigen gefolgt, was Chladni in diesem wichtigen Zweige der Akustik zuerst aufgefunden, durch seltenen Fleiſs später erweitert und in einen genauen Zusammenhang gebracht hat. Seitdem haben verschiedene Gelehrte die nämliche Aufgabe gleichfalls zum Gegenstande ihrer Untersuchungen gewählt, wodurch dieselbe noch etwas erweitert worden ist. Hauy[3] untersuchte die Gesetze schwingender Flächen; Savart[4] suchte durch eine Reihe von Versuchen darzuthun, daſs auſser den Hauptschwingungen der Scheiben, die durch die Sandfiguren angegeben werden, noch secundäre vorhanden seyen, die durch andere leichte Körper, als namentlich *semen lycopodii*, aufgefunden würden, die aber mit jenen in so genauem Zusammenhange ständen, daſs man sie aus denselben im voraus zu bestimmen vermöge. Faraday[5] hat diese Versuche mit Anwendung mehrerer leichter

---

Darcet aufgefunden, daſs diese Metallmischung abgelöscht hämmerbar, nach langsamem Erkalten aber spröde ist; diese Instrumente müssen daher im erstern Zustande gearbeitet und nachher gehärtet worden seyn. Vergl. Ann. Ch. Ph. T. LIV. p. 331.

1 Akustik. S. 193. Die mitgetheilte Beschreibung ist entnommen aus Mémoires concernants les Chinois. T. VI. redigés par Amiot P. II. p. 255. und aus Histoire générale de la Chine T. XIII. redigé par Grossier. Par. 1785. p. 300. u. 772.

2 Neue Beiträge zur Akustik S. 72.

3 Journ. de Phys. T. LXXXVIII. p. 125.

4 Ann. Chim. et Phys. T. XXXVI. p. 187.

5 Phil. Trans. 1831. p. 299 ff. Poggendorff's Ann. XXVI. 193.

Digitized by Google

Körper wiederholt und gefunden, daſs diese zuweilen, aber nicht allezeit, die Hauptfiguren zwar gleichfalls bilden, zu derselben Zeit aber sich über den schwingenden Stellen anhäufen. Inzwischen dienen die erhaltenen Resultate nicht sowohl zur Aufklärung der Schalllehre, als vielmehr zur Erforschung des eigenthümlichen Verhaltens vibrirender Scheiben. Unter den vielen interessanten Figuren, die hierbei zum Vorschein kamen, ist eine der merkwürdigsten diejenige, welche entsteht, wenn eine längliche Glasplatte in den zwei Schwingungsknoten unterstützt und zum Tönen gebracht wird, wobei noch eine Menge von Modificationen dadurch eintreten, daſs der Staub sich neben kleinen auf- oder angeklebten Papierstreifchen aufhäuft, wie aus der des Beispiels wegen mit-
Fig. 125. getheilten Zeichnung ersichtlich ist. Auch auf die Zinke einer tönenden Stimmgabel kann man feinen Staub streuen und solche Anhäufungen wahrnehmen, noch besser aber das Hinstreben des Staubes nach dem Mittelpuncte der Schwingungen, wenn man eine Thierblase über einen hohlen Cylinder straff ausspannt, in der Mitte ein durchgezogenes Pferdehaar zwischen den Fingern mit etwas Colophoniumpulver streicht und Lycopodiumsamen aufstreut. Faraday leitet diese Erscheinungen von der Luft ab, die über den schwingenden Theilen in Bewegung gesetzt wird und diese dann dem Pulver mittheilt, wie sich sehr augenfällig zeigte, als sie ausblieben, wenn der Apparat unter einen luftleeren Recipienten gebracht und das durch einen Kork hervorragende Pferdehaar gerieben wurde. Bei einer auf 4 Korkstücken einige Zoll unter Wasser ruhenden Glasscheibe, über deren Mitte eine Glasröhre gestemmt und in longitudinale Schwingungen versetzt wurde, häufte sich das aufgestreuete Eisenfeilicht gleichfalls nicht über den ruhenden, sondern den bewegten Stellen an. Bei quadratischen sowohl als auch bei runden Scheiben wurden einzelne Tropfen von Wasser oder Oel bald auf die untere, bald auf die obere Fläche so gebracht, daſs sie über den Knotenlinien durch ihre Adhäsion festhingen; sobald aber die Scheiben in horizontaler oder selbst geneigter Lage tönten, sammelten sie sich über den schwingenden Theilen und bildeten dort Anhäufungen. Faraday gründet hierauf den Schluſs, daſs die von Savart angenommenen secundären Schwingungen gar nicht existiren und die angegebenen Wirkungen viel-

mehr der Luft oder dem Waſser beizumeſsen sind, die durch die Vibrationen in Bewegung geſetzt die leichten Körper mit sich fortreiſsen. Auch bei den Waſserwellen, die nach Wheatstone auf den Scheiben erzeugt werden, bemerkt man deutlich, daſs sie sich über den vibrirenden Stellen anhäufen. Die intereſsanten Phänomene laſsen sich ausnehmend vervielfältigen, wenn man auf Glasſcheiben von ungleicher Gröſse, quadratiſchen oder runden, Glasſtäbe vertical aufkittet, sie mit einer dünnen Schicht von verdünnter Tinte übergieſst, dann durch Reiben der Glasröhre in Schwingungen verſetzt und das Licht hindurchfallen läſst, welches bloſs durch die freien Stellen dringt und es möglich macht, die über der ganzen Scheibe meiſtens sehr regelmäſsig und zahlreich verbreiteten Anhäufungen wahrzunehmen. Aehnliche Erſcheinungen zeigen sich, wenn man das Ende einer in longitudinale Schwingungen verſetzten Röhre mit Waſser in Berührung bringt oder wenn man eine Latte in horizontaler Lage befeſtigt, das freie Ende derſelben über ein Gefäſs mit Waſser bis zur Mitte deſselben hinüberragen läſst und durch einen unten angeklebten Kork mit der Oberfläche der Flüſsigkeit in Berührung bringt, dann auf der Latte ein verticales Glasſtäbchen befeſtigt und dieſes durch Reiben in longitudinale Schwingungen verſetzt, wodurch die Oberfläche der Flüſsigkeit in wellenförmige Bewegungen (*crispations* nach Faraday) verſetzt wird. Im Ganzen zeigen dieſe Verſuche augenfällig, daſs auch bei den transverſalen Schwingungen der elaſtiſchen Körper auf gleiche Weiſe wellenartige Schwingungen der einzelnen Theile ſtatt finden, als bei den longitudinalen der Stäbe §. 17. unterſucht worden sind, und die man daher ſecundäre nennen kann, inſofern sie die Töne nicht unmittelbar erzeugen; die Figuren laſsen sich aber leicht erzeugen, wenn man Scheiben mit Lycopodiumpulver beſtreuet und nach Chladni's Methode durch Streichen in transverſale Schwingungen verſetzt; noch ſchöner und anhaltender aber kann das Erzeugen der Wolken, das Anſammeln der kleinen Häufchen, die Anweſenheit der Knotenlinien und das endliche Anhäufen alles Staubes in der Mitte beobachtet werden, wenn man sich der oben beſchriebenen ſtraffen Thierblaſe mit einem Pferdehaare bedient.

Intereſsant sind ferner die Reſultate, zu denen Savart[1]

1 Ann. Chim. et Phys. T. XL. p. 1. u. 113.

Digitized by Google

gelangt ist. Er hat nämlich aufgefunden, daſs die Schallfiguren auf Scheiben eine durch die Structur der Körper modificirte Veränderung erhalten, die durch die Richtung ihrer fibrösen und weicheren Theile, desgleichen ihr krystallinisches Gefüge bedingt wird und zugleich auf die Höhe der Töne einen Einfluſs äuſsert. Er hat seine Versuche hauptsächlich auf Scheiben aus Holzarten, die in verschiedenen Richtungen gegen ihre Fibern geschnitten waren, auf solche aus Quarz und Kalkspath ausgedehnt und die entstehenden Figuren benutzt, um die eigenthümliche Structur dieser Körper aufzufinden. Da diese Aufgabe jedoch von der eigentlichen Schalllehre etwas weiter entfernt liegt, so muſs ich namentlich in Beziehung auf die groſse Menge der mitgetheilten Figuren auf die Abhandlung selbst verweisen.

Vorzugsweise verdienen noch die Bemühungen erwähnt zu werden, welche Strehlke[1] diesen Klangfiguren gewidmet hat. Zuvörderst setzt er die üblichen Glasscheiben polirten Metallscheiben von Messing oder Glockenspeise nach, weil die letztern, wenn sie genau gearbeitet und etwa 0,5 bis 0,75 Lin. gleichmäſsig dick sind, die Knotenlinien bei weitem regelmäſsiger geben sollen. Sie gewähren noch auſserdem den Vortheil, daſs man ohne Nachtheil die Stellen, wo die Scheiben gehalten und wo sie mit dem Bogen gestrichen werden müssen, mit feinen, auf der polirten Fläche leicht sichtbaren, durchkreuzenden Linien oder Sternchen bezeichnen kann. Das Halten zwischen den Fingern, so bewundernswürdige Fertigkeit Chladni auch darin hatte, scheint ihm zu unbequem und er zieht daher eine eiserne Klemme mit einem hölzernen Hand-
Fig. 126. griffe a vor, deren Schenkel etwa 4 Z. lang, drei Lin. dick, ebenso breit und am einen Ende mit einer Klemmschraube versehn seyn können, welcher am entgegengesetzten ein kurzer Cylinder gegenübersteht. Auf diesem liegt ein Tuchscheibchen von etwa zwei Lin. Durchmesser, und mit einem gleichen wird das kurze Cylinderstück bedeckt, welches das Ende der Feder bildet, in dessen Vertiefung die Spitze der Klemmschraube drückt; beide Scheibchen müssen von Sande frei gehalten werden, um auf den polirten Metallscheiben keine Risse zu erzeugen. Zum Bestreuen empfiehlt er feinen Quarzsand

1 G. LXXX. 205.

oder schwärzlichen magnetischen Eisensand, verwirft dagegen den Lycopodiumstaub insofern mit Recht, als ihm zunächst um die scharfen geometrischen Figuren, aber nicht um die durch FARADAY hervorgehobenen Erscheinungen zu thun ist. Als allgemeine Gesetze stellt STREHLKE auf, daſs die durch die Klangfiguren bezeichneten Linien stets krumme und eigentliche Linien, keine Flächen sind, auch sich nie durchschneiden. Um dieses zu beweisen, wird gezeigt, wie beim Aufstreuen von wenig Sand die durch CHLADNI gezeichneten geradlinigen Figuren durch schärfere Bezeichnung der eigentlichen Knotenlinien sich als krummlinig zeigen. Inzwischen erklärt sich CHLADNI[1] entschieden gegen diese Behauptungen, und betrachtet die gefundenen Abweichungen als Folge eines Mangels gleichmäſsiger Dichtigkeit und Dicke bei Metallscheiben, die deswegen weniger zu solchen Versuchen geeignet seyen. Daſs die Durchschnitte der Knotenlinien oft durch krumme Linien begrenzt sind, betrachtet er mit Recht als eine Folge der geringern Excursionen, welche die schwingenden Theile dort machen, die also den Sand nicht zu entfernen vermögen; überhaupt aber haben CHLADNI's Ansichten dieses Problems durch die Untersuchungen der Gebrüder WEBER in ihrer Wellenlehre eine solche Bestätigung erhalten, daſs man ihnen unbedingtes Vertrauen schenken kann. Der durch STREHLKE vorgeschlagene Halter findet zwar bei CHLADNI gleichfalls keinen Beifall, allein da nicht alle Experimentatoren eine gleiche Fertigkeit besitzen, als dieser geübte Akustiker, so glaube ich, daſs derselbe mit Recht Empfehlung verdient.

Inzwischen ist STREHLKE[2] in Folge seiner fortgesetzten Untersuchungen, ungeachtet dieses Widerspruches, keineswegs geneigt, seine aufgestellten Behauptungen zurückzunehmen, jedoch giebt er zu, daſs Glasscheiben den Metallscheiben an Tauglichkeit zur Auffindung der eigentlichen Knotenlinien mindestens sehr nahe kommen. Nicht mit Unrecht sucht er vorzüglich zu vermeiden, daſs der Sand durch irgend eine Klebrigkeit an Stellen der Scheiben haften bleibe und dadurch die Entstehung der scharfen Linien hindere. Aus dieser Ursache

1 G. LXXXI. 345.
2 Poggendorff's Ann. XVIII. 198. Vergl. XXIV. 537.

räth er die Glasſcheiben mit Blattgold zu überziehn oder mit einem sehr dünnen Ueberzuge von Schellackfirniſs, oder ihre Oberfläche fein matt zu schleifen, was auch bei Metallſcheiben vortheilhaft ist. Auſserdem müssen die mit den Fingern berührten Stellen sorgfältig wieder gereinigt werden, auch darf von dem möglichst gleichmäſsig aufgestreuten Sande keine gröſsere Menge vorhanden seyn, als daſs 3 bis 4 Körnchen auf die Quadratlinie kommen. Endlich soll sogar ein ungleich starkes Festhalten der Scheiben zwischen den Fingern oder zwischen den Schenkeln der Klemmschraube die Gestalt der Figuren so bedeutend abzuändern vermögen, daſs es kaum möglich sey, die nämliche Figur mehrmals nach einander zu erzeugen, was nothwendig ist, wenn ihre Dimensionen genau gemessen werden sollen. Strehlke hat daher seine Versuche bloſs auf die einfachsten Figuren beschränkt, die auf Quadratscheiben entstehn, wenn sie in einem oder mehrern Puncten auf den Spitzen der Fingern ruhn. Dieses wird unter andern bewerkstelligt, wenn man die Scheibe in den Puncten E, C, D mit dem Daumen, Zeigefinger und dem fünften Finger unterstützt und mitten zwischen D und F vertical mit dem Bogen streicht, worauf jederzeit die gezeichnete, aus zwei hyperbolischen Curven bestehende Figur zum Vorschein kommt, deren Hauptaxe AB ist, womit ihre Asymptoten einen Winkel gröſser als 45° einschlieſsen. Unter der Voraussetzung, daſs die Gleichung der Curve sey

Fig. 127.

$$y^2 = px + qx^2,$$

versuchte er die Werthe von p und q durch Messung aufzufinden, woraus eine hinlängliche Uebereinstimmung der Theorie mit der Erfahrung hervorging. Hiernach betrachtet er also die sonstigen zusammengesetzten Figuren als aus solchen hyperbolischen Curven bestehend, und daſs dieses für eine groſse Zahl derselben richtig sey, läſst sich bei der Genauigkeit der Versuche wohl nicht bezweifeln; ob aber hierdurch die aufgestellten Sätze in gröſster Allgemeinheit bewiesen sind, unterliegt immer noch einigem Bedenken.

33) Scheibenförmige, durch innere Steifheit elastische Körper müssen auch longitudinale Schwingungen haben können, wie schon daraus folgt, daſs bei dieser Art von Schwingungen elastischer Stäbe ihre Dicke keinen bedeutenden Einfluſs ausübt und man durch Vermehrung der Breite bei Stäben

zu schmalen Rectangulärscheiben gelangt. Zugleich liegt es jedoch in der Natur der Sache, daſs es mühsam und schwierig seyn muſs, Scheiben von etwas beträchtlicher, nur etwa 2 Zoll betragender Breite in longitudinale Schwingungen zu versetzen, und bei gröſserer Breite ist dieses überall kaum möglich, da ohnehin eine nicht unbeträchtliche Länge hierfür unumgänglich nothwendige Bedingung ist. Savart[1] hat diese longitudinalen Schwingungen vorzüglich untersucht und gefunden, daſs dabei gewisse Theile der Scheiben sich verdichten, andere dagegen ausgedehnt werden, woraus dann in Absätzen Schwingungsknoten, wie bei den Längentönen der Stäbe, entstehn, wobei noch die merkwürdige Eigenthümlichkeit statt findet, daſs die Schwingungsknoten auf beiden Seiten der Scheiben entgegengesetzt wechseln, indem da, wo auf der einen Seite sich der Sand anhäuft, er auf der entgegengesetzten zerstreuet wird. Biot[2] hat die hierbei entstehenden Verdichtungen auf eine interessante Weise dadurch sichtbar gemacht, daſs er den polarisirten Lichtstrahl durch solche schwingende Scheiben fallen lieſs und dann eine Verdunkelung des Lichts durch die verdichteten Stellen wahrnahm. Am einfachsten werden diese Schwingungen bei Anwendung desjenigen Verfahrens wahrgenommen, welches die Gebrüder Weber[3] angegeben haben. Man klemmt nämlich einen gegen zwei Fuſs langen Glasstreifen zwischen zwei Korkstückchen in einen Feilkloben, hält ihn vermittelst des letztern horizontal, reibt ihn am einen Ende mit einem wollenen Läppchen auf die bei Stäben gewöhnliche Weise und streuet Sand darauf, dann ordnet sich dieser über 4 oder 5 sammelnden Querlinien. Merkt man die Stellen derselben, dreht dann den Streifen um und verfährt wie vorher, so ergiebt sich, daſs die dann gleichfalls gebildeten Knotenlinien in die Zwischenräume zwischen den ersteren fallen. Selbst auch verzogene Linien werden auf diese Weise erhalten, welche gleichfalls auf beiden Seiten eine entgegengesetzte Lage haben und daher sehr genau mit den bei Stäben sich zeigenden gewundenen Linien übereinkommen. Die auf diese Weise erzeugten

1 Ann. Chim. Phys. XIV. 116.
2 Ann. Ch. Phys. XIII. 151. G. LXV. 26.
3 Wellenlehre S. 562.

Töne sind zwar sehr hoch, können aber nicht durch Schwingungen derjenigen Längen, welche durch die Knotenlinien bezeichnet werden, entstanden seyn und es müssen letztere daher gleichfalls secundären, nicht für sich hörbaren Schwingungen zugehören.

Savart, welcher bei seinen schätzbaren Untersuchungen der Schwingungsgesetze elastischer Körper das unverkennbare Bestreben zeigt, Chladni's Verdienste um die Aufklärung eben dieser Probleme als mangelhaft darzustellen, konnte die Längentöne an einem Stabe, dessen eines Ende eingeklemmt ist, die man sehr passend mit den Luftschwingungen in einer oben verschlossenen Röhre vergleicht, nicht hervorbringen, allein ihre Existenz ist genügend dadurch erwiesen, daſs Chladni sie in der Anwesenheit Gilbert's[1] hervorbrachte, und zwar nicht bloſs den einen Grundton, sondern auch den zweiten durch die Bildung noch eines Schwingungsknotens. Sie sind jedoch weit schwieriger zu erhalten als die der freischwebenden Stäbe und erfordern, daſs der Stab sehr fest in einen Schraubstock eingeklemmt werde, weswegen sich hölzerne und metallene Stäbe mehr hierzu eignen als gläserne, welche letztere in eine metallene Fassung oder in ein Stück Holz fest eingekittet seyn müssen, um dem starken Drucke des Schraubstocks zu widerstehn; bei allen aber ist wohl nothwendig, ihnen eine verticale Richtung zu geben, weil sonst die Schwankungen das Entstehn der Töne hindern. Es ist sonach nicht minder schwierig, lange Streifen oder Bleche dann zum Tönen zu bringen, wenn sie an einem Ende oder gar an beiden befestigt sind, auch bietet diese Art des Verfahrens nicht viel Interesse dar, weil man die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Schwingungen nicht wohl erkennen kann, und die Untersuchungen beziehn sich daher in der Regel nur auf die Schwingungen freigehaltener Streifen.

Die Glasstreifen, deren sich Savart zu seinen Versuchen bediente, waren von 6 Fuſs bis 6 Zoll lang, und bei den kurzen ist erforderlich, daſs sie nur hinlänglich schmal und dünn sind. Am besten hält man sie in der Mitte zwischen den Fingern und reibt das eine Ende auf die mehrmal

1 Dessen Ann. LXVIII. 162.

angegebene Weise. Der Ton, welcher dann zum Vorschein kommt, ist gleichfalls der tieſste des Streifens; wenn man letztern jedoch am vierten, sechsten oder achten Theile von seinem Ende an festhält, so giebt er die Octave, dann die Quinte, und demnächst noch eine Quarte, die Töne folgen also wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4, oder, wenn der erste eingestrichen c genannt wird, so ist ihre Reihenfolge $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, jedoch lassen sich alle diese vier Töne nur mit 6 Fuſs langen Streifen erzeugen. Uebrigens erhält man die Längentöne auch dann namentlich bei Metallstreifen, wenn man sie frei schwebend hält und gegen ihr eines Ende mit einem harten Körper schlägt, oder noch besser, wenn man an ihr eines Ende in der Mitte und mit ihren Rändern parallel laufend ein kleines Glasröhrchen klebt und dieses mit einem nassen Läppchen reibt. Auf diese Weise lassen sich breitere Streifen und selbst Scheiben in longitudinale Schwingungen versetzen; die Töne bleiben unverändert, wenn das Röhrchen sehr klein ist, werden aber mit zunehmender Gröſse desselben tiefer, auch rücken die Knotenlinien in gleichem Verhältnisse weiter auseinander. Die beiden zuletzt angegebenen Arten, die Längentöne zu erzeugen, geben die Sandfiguren an beiden Enden der Streifen, die dann nicht auf der ganzen Oberfläche gleichmäſsig vertheilt erscheinen können, wenn man eins der Enden zwischen den Fingern reibt; jedoch genügt es auch, bloſs die untere Seite der Streifen zu streichen. Die Knotenlinien fallen übrigens auch dann auf beiden Seiten in die gegenseitigen Zwischenräume, wenn der Streifen mit einem schräg gehaltenen Stabe mehr gegen die eine als gegen die andere Fläche geschlagen wird, so daſs also in dieser ungleichen Vertheilung des Stoſses der Grund dieser Erscheinung nicht liegen kann; auch ersieht man deutlich aus der gleitenden Bewegung des Sandes, daſs die Knotenlinien den Längenschwingungen und keinen transversalen zugehören. Am leichtesten erhält man die Figuren auf schmalen und dünnen Streifen, indeſs geben auch solche, die die doppelte Dicke haben, den nämlichen Ton, aber eine geringere Anzahl Querlinien, woraus hervorgeht, daſs auf gleiche Weise, als bei Stäben, die zum Vorschein kommenden Kno-

Digitized by Google

tenlinien zum Theil oder insgesammt secundären Schwingungen zugehören. Savart will ferner bemerkt haben, daſs die longitudinal schwingenden Streifen da, wo sie ungefähr in der Mitte zwischen den Fingern gehalten werden, beim Tönen an Dicke zunehmen, woraus zu folgen scheint, daſs an dieser Stelle der eigentliche, den Ton bedingende Schwingungsknoten liegen mag. Streifen von 25 Zoll Länge, 1,3 Lin. Dicke und 0,5 bis 0,75 Zoll Breite zeigen gerade Knotenlinien, ungefähr von der Art und Anzahl, wie sie zu mehrerer Deut-
Fig. 128. lichkeit in der Zeichnung für die eine Oberfläche angegeben sind, solche aber, die bei gleicher Länge und Dicke eine gröſsere Breite haben, geben gekrümmte Knotenlinien, die bei
Fig. 129. 1,5 Zoll Breite auf der einen Fläche so wie in A und nach dem Umkehren so wie in B gestaltet sind. Wählt man Streifen von der nämlichen Länge und Dicke, aber von einer 2 bis 2,25 Zoll erreichenden Breite, so zeigen sich auf den beiden Flächen gekrümmte Linien, gleichfalls von verschiedener
Fig. 130. Lage, ungefähr denen gleich, die in der Zeichnung ausgedrückt sind. Diesen gleichen im Allgemeinen diejenigen Figuren, die auf zunehmend kürzeren und breiteren Streifen zum Vorschein kommen, denn selbst auf quadratischen sind sie diesen ähnlich, wenn man sie vermittelst eines kleinen
Fig. 131. Röhrchens erzeugt. Die Zeichnung giebt auch hiervon eine genäherte Darstellung. Auf welche sonstige Weise aber Längenschwingungen starrer elastischer Körper erzeugt werden können, wird in einem folgenden Abschnitte (C) näher untersucht werden.

Das physische Verhalten tönender elastischer Scheiben ist durch die mitgetheilten Untersuchungen Chladni's und anderer Gelehrten in einem hohen Grade der Vollständigkeit aufgefunden worden, allein eine genügende geometrische Theorie hat man bisher zu erhalten noch nicht vermocht. Gleich nach Bekanntwerdung der merkwürdigen Versuche Chladni's unternahm Jac. Bernoulli[1] einen analytischen Ausdruck für die Gesetze dieser Schwingungen theoretisch aufzufinden, indem er sich namentlich eine quadratische Scheibe als ein netzför-

1 Nov. Act. Ac. Petrop. Ann. 1787. T. V. p. 197. Eine Abhandlung über die Schwingungen der Scheiben im Allgemeinen von Dan. Bernoulli findet man in Comm. Pet. T. XII. p. 105 u. 167.

[e]niges Gewebe von Faſern dachte, die einander rechtwinklig durchkreuzen, allein dieſe Vorſtellungsart iſt ſchwerlich zuläſsig und auf jeden Fall ſtimmen die erhaltenen Reſultate nicht mit der Erfahrung überein. Als 1809 die Verſuche Chladni's bei den Mitgliedern des franzöſiſchen Inſtitutes, namentlich de la Place, ſo groſse Aufmerkſamkeit erregten, daſs ſie den Kaiſer Napoleon vermochten, zwei Stunden lang ſich dieſelben vorzeigen und erläutern zu laſſen, und daſs er auſserdem 6000 Fr. als Remuneration für dieſen Gelehrten anwies, um eine franzöſiſche Ueberſetzung ſeiner Akuſtik zu beſorgen, ſetzte das Inſtitut einen Preis von 3000 Fr. für eine analytiſche Auflöſung des Problems der Schwingungen elaſtiſcher Scheiben feſt, und nachdem dieſelbe Aufgabe zweimal vergebens wiederholt worden war, wurde 1816 der Preis einer Abhandlung der Demoiſelle Germain ertheilt, der einzigen, die dem Inſtitute überreicht worden war, und worin ſich wenigſtens eine richtige Differenzialgleichung und einige neue Unterſuchungen befanden[1]. Später hat auch Poisson[2] ſeine Unterſuchungen der Schwingungen elaſtiſcher Körper auf Scheiben, namentlich quadratiſche, ausgedehnt, ohne jedoch das Problem in ſeinem ganzen Umfange vollſtändig zu löſen.

34) Ein ähnliches Verhalten, als dasjenige, welches oben §. 20. rückſichtlich der Stäbe zur Unterſuchung gekommen iſt, zeigen auch die Scheiben, wenn ſie zu Glocken gebogen ſind, mit dem Unterſchiede, daſs im letztern Falle bloſs die einfachſten Schwingungen runder Scheiben, wobei die Knotenlinien ſich in der Mitte ſchneiden, zum Vorſchein kommen, indem mindeſtens noch nicht factiſch dargethan worden iſt, daſs auch die übrigen vielfachen Schwingungen runder Scheiben bei Glocken erzeugt werden können. Wird eine Glocke an irgend einer Stelle angeſchlagen, ſo erhält ſie 4 um 90° von einander abſtehende Knotenlinien, die ſich im Knopfe derſelben ſchneiden, wobei die den Knopf oder Stiel (die Handhabe, den Griff) umgebenden Theile ruhn, und der erhaltene Ton iſt, wie bei Scheiben, der tiefſte, den die Glocke geben kann. Daſs dieſe vier (oder zwei ganz durchgehenden, in der Mitte ſich durchkreuzenden) Knotenlinien wirklich bei dieſem

1 Chladni neue Beitr. zur Akuſtik S. 8.

2 Mém. de l'Inſtitut. T. VIII. p. 523.

durch Anschlagen derselben erzeugten Tone vorhanden sind, ersieht man sehr deutlich daraus, daſs jede Glocke den nämlichen Ton giebt, wenn man sie frei gehalten mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht, oder wenn man sie an einer Stelle ihres Randes oder an zwei um 180° oder an vier um 90° von einander entfernten Stellen schwach mit der Fingerspitze berührt und jedesmal in 45° Abstand von einer der berührten Stellen mit einem Violinbogen in der Richtung ihres Durchmessers streicht. Dünne, möglichst gleichmäſsig dicke gläserne Glocken mit mattgeschliffenem Rande, wie man sie für Luftpumpen gebraucht (jedoch ohne Wulst), zeigen dieses ebenso leicht, als bestimmt. Bei diesen Tönen müssen also zwei einander gegenüberstehende Quadranten gleichzeitig nach innen und die beiden andern nach auſsen gebogen werden und vermöge des schnellen Wechsels dieser Lagen den Ton erzeugen. Diese Bebungen lassen sich sichtbar machen, wenn man ein kleines Knöpfchen Siegellack an einem feinen Faden herabhängend mit der innern Fläche der Glocke in Berührung bringt, indem es dann an den schwingenden Stellen hüpft, an den ruhenden aber unbewegt bleibt, jedoch lassen sich die letztern bei frei gehaltenen Glocken nicht leicht auffinden, vielmehr scheint es bei diesen, wenn sie groſs, d. h. 10 bis 14 Zoll weit, dabei dünn und nicht durchweg gleichmäſsig dick sind, als ob das Hüpfen des Knöpfchens überall, wenn gleich stellenweise in leicht unterscheidbarer gröſserer oder geringerer Stärke, statt fände. Ist die Glocke bis zu irgend einer beliebigen Höhe mit Wasser gefüllt, so lassen sich die Wellen zwar nicht beim bloſsen Anschlagen, wohl aber durch Streichen mit einem Violinbogen auffallend deutlich darstellen, ein Versuch, welcher ebenso leicht und interessant ist, als die Erzeugung der Sandfiguren auf Scheiben. Auch hierzu sind kleine Campanen der Luftpumpen von 1,5 bis 2 Zoll Durchmesser und 3 bis 4 Zoll Höhe mit einem kleinen Knopfe und mattgeschliffenem Rande vorzüglich geeignet, jedoch kann man auch gewöhnliche Bier- oder Weingläser dazu benutzen. Die wellenerzeugenden schwingenden Stellen unterscheiden sich dann sehr deutlich von den ruhenden und die Wasserfläche zeigt beide genau so wie die Zeichnung angiebt. Hierbei tritt der beachtenswerthe Umstand ein, daſs der Ton zunehmend tiefer wird, je höher

Fig. 132. Fig. 133.

das Wasser in ihnen steigt, man mag ihn durch bloſses Anschlagen oder durch Streichen mit einem Violinbogen erzeugen, und wenn der einmal vorhandene etwas anhält, die Glocke aber während dieser Zeit in eine schräge Lage gebracht wird, so geht der Ton allmälig zu einem bedeutend tiefern über. Weil aber die 4 Schwingungsknoten allezeit vorhanden sind, der Wasserstand sey niedrig oder hoch, und auſserdem der Ton nicht sprungweise, sondern ganz allmälig mit zunehmender Wasserhöhe in einen tiefern übergeht, so kann dieser Unterschied nicht auf einer Verminderung der Zahl der Schwingungsknoten beruhen. Chladni, übrigens so vollständig in der Angabe aller, selbst geringfügiger Modificationen, erwähnt diesen Umstand nicht, und da es mir für den Augenblick an Zeit fehlt, diesen Gegenstand durch eigene weitere Versuche genügend aufzuklären, so finde ich die vorläufige Erklärung desselben in dem Umstande, daſs das berührende Wasser die Schnelligkeit der Schwingungen in eben dem Maſse hindert und langsamer macht, als seine Höhe zunimmt, weswegen dann die Töne im gleichen Verhältnisse tiefer werden müssen[1]. Auſser den 4 Schwingungsknoten können deren auch 6 oder 8, allgemein $2n + 2$ erzeugt werden, so weit der Umfang der Glocke dieses gestattet, wenn man dieselbe an

---

1 Ein Tieferwerden der Töne bei Glasröhren, die mit einer Flüssigkeit erfüllt vermittelst des Streichens mit einem Geigenbogen tönten, hat Savart Ann. Ch. Phys. XIV. 169. bemerkt, und zwar ist der Ton tiefer, wenn die Flüssigkeit specif. schwerer ist. Die Ursache einer allgemein bekannten Sache, nämlich daſs gefüllte Champagnergläser nicht klingen, finde ich gleichfalls nirgend erörtert, und theile daher auch hierüber dasjenige mit, was mir das Phänomen zu erklären scheint. Die hohen und langen Kelche dieser engen Gläser klingen überall schwer, insbesondere wenn sie etwas dick sind, weil die vier Schwingungsknoten einander nahe liegen und die Masse der in Schwingungen zu versetzenden Theile bis zum Boden hinab sehr groſs ist, weswegen auch diejenigen Gläser am schönsten klingen, welche einen dünnen Stiel mit geringer Dicke des Kelches und einer der Halbkugel nahe kommenden Gestalt vereinigen. Die an sich schwer klingenden Champagnergläser werden noch weniger tönend, wenn irgend eine Flüssigkeit, also nicht bloſs der moussirende Wein, die Schwingungen erschwert, sobald aber die an die Wandungen sich anlegenden Luftblasen mit tropfbaren berührenden Flüssigkeiten wechselnd die Schwingungen noch mehr erschweren, müssen sie dann gänzlich zu tönen aufhören.

Digitized by Google

einer oder einigen hierzu geeigneten Stellen leiſe berührt und ungefähr in der Mitte eines ſchwingenden Theiles ſtreicht. Iſt die Oberfläche des Waſſers mit einer dünnen Lage Hexenmehl (*semen lycopodii*) beſtreuet, ſo werden die Wellen durch die Anordnung dieſer Subſtanz und die entſtandenen Figuren noch ſichtbarer.

Hiermit iſt eigentlich das Verhalten tönender Glocken oder glockenförmiger Körper (der Gläſer, Taſſen, Töpfe u. ſ. w.) vollſtändig angegeben, und es können demnach nur noch diejenigen Umſtände erörtert werden, welche dieſes allgemeine Geſetz modificiren. Wird der Rand einer Glocke, wozu ſich jedoch bloſs gläſerne (*Harmonica-Glocken*) oder porzellanene eignen, indem andere nur mit Leder oder einer ſonſtigen Subſtanz und Colophonium zum Tönen gebracht werden, mit naſſen Fingern gerieben, während ſie auf einer Axe befeſtigt umlaufen, ſo entſtehn gleichfalls die vier Knotenlinien, und man kann ſie daher gleichzeitig entweder an einer oder an mehrern Stellen reiben, jedoch bloſs an ſolchen, wohin Knotenlinien fallen, alſo in 90°, 180° und 270° Abſtand. Findet an einer andern Stelle eine Reibung ſtatt, ſo tönt die Glocke entweder gar nicht, oder es entſteht ein anderer verſchiedener Ton, ſobald die Reibungen in andern, ſymmetriſch geordneten Knotenlinien ſtatt finden. Die leichteſte und daher auch gewöhnlichſte Abtheilung durch vier Schwingungsknoten findet auch dann ſtatt, wenn eine Glocke etwas unter ihrem Rande in der Richtung ihres Umfanges mit einem Violinbogen geſtrichen oder mit naſſen Fingern gerieben wird, und allezeit befindet ſich an der geſtrichenen Stelle dann ein Schwingungsknoten, ſtatt daſs beim Streichen in der Richtung des Durchmeſſers ein Schwingungsbogen entſteht. Geſchieht nämlich das Streichen in der Richtung m n, ſo geht die Form der Glocke abwechſelnd in f p und g q über, und die Knotenlinien laufen ohne Unterbrechung ſtets in gleichen Abſtänden von einander um den ganzen Umfang der Glocke.

Fig. 134.

35) Die regelmäſsige genaue Abtheilung der Glocken durch die vier Schwingungsknotenlinien erfolgt aber bloſs dann, wenn dieſelben überall von gleichmäſsiger Dicke ſind; widrigenfalls werden jene ungleich und es entſtehn, wie dieſes bei gröſsern und kleinern Scheiben, beide als gleich betrachtet, der Fall ſeyn würde, je nach der Stelle, wo ſie angeſchlagen oder ge-

Digitized by Google

strichen werden, ungleich hohe Töne. Es läſst sich dieses bei einem Glase oder einer Tasse mit einem Henkel nachweisen, indem letzterer dann entweder mitschwingt oder ruht, und hierdurch die Höhe des Tones abändert, wobei der Unterschied einen halben Ton betragen kann. Bei Harmonica-Glocken ist der Unterschied der Tonhöhe zwar geringer, aber doch so merklich, daſs dadurch ein unangenehmes Mitklingen eines nahe gleichen Tones erzeugt wird, wodurch dann die später zu erörternden Stöſse entstehn. Ebendieses findet sich bei manchen Glocken, namentlich denen auf Thürmen, wo man jedoch durch genaue Aufsuchung der Stellen, an die der Klöppel schlagen muſs, die Entstehung der unrichtigen Töne vermeiden kann. Ist eine Glocke in der Richtung ihres Umfanges geborsten, so können die Theile an beiden Seiten des Risses schwingen und die Möglichkeit eines Fortbestehns ihres Tones ist vorhanden, wenn auch derselbe minder hell ist, geht aber der Riſs nach der Länge der Glocke, so fällt die offene Stelle entweder in eine Knotenlinie oder in eine schwingende Abtheilung; im erstern Falle fehlt die erforderliche Steifheit, im letztern stoſsen die offenen Theile gegen einander, die Schwingungen können nicht regelmäſsig statt finden und der Ton bleibt daher in der Regel ganz aus oder er ist in seltenen Fällen mindestens rauher, kurz man hört ein bloſses Geräusch, ein Klappern, aber keinen Ton, zu dessen Entstehn die erforderlichen Bedingungen fehlen. Geht der Riſs nicht tief, so kann der Fehler verbessert werden, wenn man unter dem Risse ein Loch bohrt und bis in dieses herab ein dreieckiges Stück aussägt, wodurch aber der Ton in Folge des erweiterten Umfangs tiefer wird. Wenn hinlänglich groſse und gleichmäſsig dicke Glocken durch das bereits angegebene Verfahren vermittelst der Knotenlinien in 4, 6, 8, 10 u. s. w. Theile getheilt werden, so stehn die alsdann entstehenden Töne im Verhältniſs der Quadrate von 2, 3, 4, 5, und heiſst also der tiefste Ton, welcher 4 Knotenlinien zugehört, ungestrichen c, so sind die andern $\overline{d}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{gis}}$. Zur Bestimmung der verhältniſsmäſsigen Menge der Schwingungen ähnlicher Glocken giebt Chladni in Gemäſsheit der für schwingende Stäbe aufgestellten Grundsätze an, daſs

$$N = \frac{n^2 D}{L^2}\sqrt{\frac{\varrho}{\delta}}$$

ist, worin n eine constante Zahl der Schwingungen, L den Durchmesser, D die Dicke, ϱ die Rigidität der Masse und δ die Dichtigkeit oder das spec. Gewicht bezeichnen (§. 15). Bei Glocken aus einerlei Materie sind also die Töne im geraden Verhältnisse der Dicke höher und im quadratischen der Durchmesser tieſer. Theoretische Untersuchungen über tönende Glocken haben L. Euler[1] und Golowin[2] angestellt, allein die erhaltenen Resultate stimmen nicht genau mit den von Chladni durch Erfahrung gefundenen überein.

Es verdient hier noch eine interessante Thatsache mitgetheilt zu werden, welche Strehlke[3] aufgefunden hat. Wenn man ein gewöhnliches cylindrisches Trinkglas befeuchtet, dann inwendig und auswendig mit ſeinem Sande überzieht, welcher leicht darauf haſten bleibt, und mit einem Geigenbogen streicht, so entstehn inwendig vier Streiſen, die mit ihren Spitzen von den breitern untern Theilen auslaufend bis an den Rand hinauſreichen. Auf der Auſsenseite entstehn gleichfalls Figuren, aber an denjenigen Stellen, die inwendig frei sind. Hierin zeigen also solche Gläser ein gleiches Verhalten, als Scheiben, die in Schwingungen versetzt werden.

B. Entstehung der Töne durch Schwingungen elastischer oder expansibler Flüssigkeiten.

36) Daſs tropſbare Flüssigkeiten zur Erzeugung des Schalles nicht geeignet sind, ist bereits oben (§. 6.) erwähnt worden; desto mehr ist dieses bei den elastischen oder expansiblen der Fall, deren Elasticität zwar nicht in einem solchen Grade der Stärke jeder Veränderung der Gestalt widersteht, als starre oder gespannte ſeste Körper in Folge ihrer Steifung dieses vermögen, die dagegen aber eine überwiegende Geneigtheit zur Erzeugung von Oscillationen in ihrem steten Bestreben

1 Nov. Comm. Soc. Pet. T. X. p. 261.
2 Acta Acad. Pet. Ann. 1781. T. II.
3 G. LXXX. 211.

nach Expansion besitzen und sich daher zur Erzeugung von Tönen vorzugsweise eignen. Es darf demnach mit Sicherheit angenommen werden, daſs bei weitem die Mehrzahl der Töne durch Schwingungen der Luft erzeugt werde.

Auf gleiche Weise, als durch einen einzelnen Stoſs eines festen Körpers kein Ton, wohl aber ein Knall oder vielmehr ein Geräusch, erzeugt wird, ist dieses auch bei elastischen Flüssigkeiten der Fall, mit dem Unterschiede, daſs bei diesen noch leichter ein Knall, ein Getöse, zum Vorschein kommt, weil die gestoſsenen Massen der Gasarten leichter fortdauernde unregelmäſsige, zum eigentlichen Tone ungenügende Wellen erzeugen, als feste Körper. Ein Knall entsteht daher, wenn die Luft schnell in einen leeren Raum stürzt, z. B. beim schnellen Oeffnen eines Pennals, beim Zerplatzen einer Blase oder eines Gefäſses durch den Luftdruck, beim schnellen Zertrennen der Luft vermittelst einer Peitschenschnur, beim Durchbruche eines elektrischen Funkens oder des Blitzes, jedoch geht im letztern Falle der Knall in eine Art von Ton über, wenn er von der Erde und geeigneten Gegenständen auf derselben, als Felsen, Bäumen u. dgl., oft und schnell reflectirt wird. Zur Erzeugung eines solchen Getöses ist nicht gerade das Vorhandenseyn eines absolut leeren Raumes erforderlich, sondern oft bloſs der Stoſs der verdichteten Gasarten gegen dünnere, wie sich deutlich beim schnellen Oeffnen eines Pennals zeigt. Aehnliche Erscheinungen kommen daher bei allen Explosionen, namentlich denen des Schieſspulvers, der Knallsalze, der detonirenden Mischungen, beim Verbrennen des Knallgases, dem Zerplatzen der Dampfkessel u. s. w. vor, wobei eine Masse verdichteter elastischer Flüssigkeiten plötzlich in dünnere Luft eindringt, meistens aber durch augenblickliche Verdichtung einen minder erfüllten Raum erzeugt, in welchen die umgebenden Luftschichten hineinstürzen.

Bei weitem in den meisten Fällen ist die atmosphärische Luft derjenige elastische Körper, welcher Töne erzeugt, und sie dient daher als Norm bei der Demonstration der hierbei herrschenden Gesetze, ebenso wie in der Pneumatik. Es wird daher der Kürze wegen bei den folgenden Untersuchungen bloſs von der Luft die Rede seyn und nur später noch eine Anwendung auf einige Eigenthümlichkeiten anderweitiger gasförmiger Körper gemacht werden.

Digitized by Google

37) Ein bloſser Luftſtrom, ein Flieſsen der Luft durch eine Oeffnung in den freien Raum oder in einer Röhre, erzeugt keinen Schall, und wenn gleich beim Pfeifen mit dem Munde oder andern pfeifenden Tönen, bei denen die Luft durch ein enges Loch strömt, dieses der Fall zu seyn scheint, so gewahrt man doch bei näherer Untersuchung bald, daſs hierbei noch andere Bedingungen mitwirken, denn namentlich hört das Pfeifen mit dem Munde auf, wenn man ein gläsernes oder metallenes Röhrchen zwischen die Lippen nimmt, und wenn auch hierbei, wie beim Strömen des Windes durch enge Oeffnungen, ein pfeifendes Geräusch entsteht, so ist dieses die Folge der Bebungen, worin die Ränder oder inneren Theile der Röhren und Oeffnungen versetzt werden und die sie dann der Luft mittheilen, wie dieses bei der Betrachtung der durch Luftschwingungen tönenden Instrumente näher nachgewiesen wird. Die Töne durch Luft entstehn vielmehr ganz eigentlich vermittelst der Schwingungen, worein diese Flüssigkeit geräth, und zwar sind diese longitudinale, indem weder transversale noch drehende bei der Beweglichkeit oder groſsen Flüssigkeit der Luft entstehn können. Wie bei starren Körpern bestehn diese Schwingungen in wechselnden Verdichtungen und Verdünnungen, die nach der Länge fortgehn und wieder zurückkehren, wodurch auch in der Luft Schwingungsknoten entstehn, deren Bildung wir uns auf gleiche Weise vorstellen müssen, als dieses bei festen Körpern §. 17. erläutert wurde.

Das Verhalten der Luft bei der Erzeugung der Schallwellen ist nach einigen frühern Bemühungen, namentlich von Sauveur[1], hauptsächlich untersucht worden durch Dan. Bernoulli[2] und L. Euler[3], deren gründliche Forschungen von allen spätern Gelehrten benutzt wurden; eine klare Uebersicht des Problems aber findet man in den Werken von Biot[4] und von den Gebrüdern Weber[5], denen ich in der hier mitzutheilenden Darstellung hauptsächlich folge.

---

1 Mém. de l'Acad. 1701.
2 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.
3 Nov. Comm. Pet. T. XVI. p. 335.
4 Traité de Phys. exper. et math. T. II. p. 110.
5 Wellenlehre S. 481.

Digitized by Google

38) Wenn man das Pfeifen mit dem Munde, den Ton kleiner Jagdpfeifen und der Mundstücke mancher Instrumente berücksichtigt, so scheint zu folgen, daſs Schallwellen von beträchtlicher Breite auch im freien und unbegrenzten Raume statt finden können, indem dieses namentlich in Beziehung auf die beträchtlich tiefen Töne beim Pfeifen mit dem Munde nothwendig anzunehmen wäre, für welche der kurze Raum zwischen den Lippen nicht genügt. Es wird jedoch in der Folge gezeigt werden, daſs einmal erzeugte Wellen allerdings im freien Raume fortgehn können, im Allgemeinen aber wird ihre Breite durch die Länge der Röhren, in denen die schwingende Luftsäule eingeschlossen ist, und deren aliquote Theile auf gleiche Weise bedingt, als dieses bei transversalen und longitudinalen Schwingungen der Stäbe statt findet. Um aber das Ganze leichter zu übersehn, mögen erst folgende allgemeine Sätze vorausgeschickt werden.

a) Wenn wir uns die durch Verdichtungen und Verdünnungen entstehenden Luftwellen denen ähnlich denken, die aus den Erhebungen und Vertiefungen der Flüssigkeiten bestehn, so giebt es auch bei jenen verdichtende und verdünnende Wellen, Wellenberge und Wellenthäler, die in ihrer Bewegung einander entgegengesetzt sind, indem die einen rückwärts sich bewegen, wenn die andern vorwärts schreiten; wo beide einander begegnen, so daſs ein Stillstand eintritt, heben sie sich auf und es entsteht ein Schwingungsknoten.

b) Die Geschwindigkeit, womit die Wellen in der nämlichen Art einer elastischen Flüssigkeit sich bewegen, ist stets sich selbst gleich, die Röhre sey weit oder enge und die Ursache ihrer Erzeugung, welche sie wolle; der Unterschied beruht also bloſs auf der Breite der Wellen oder der Länge des Raumes, bis wohin die verdichtende oder die verdünnende Welle fortschreitet, bis sie umkehrt oder in die entgegengesetzte verwandelt wird, und diese Breite der Wellen als Ursache der Tonhöhe wird bedingt theils durch die Länge der Röhre uud das Verhältniſs der aliquoten Theile, worein sie sich theilen kann, theils durch die Ursache, welche die Wellen erzeugt, indem die Fortschreitung der Welle um so viel länger dauern muſs, je anhaltender die sie erzeugende Ursache auf sie einwirkt.

c) Denken wir uns die Schallwellen der Luft wie die

Digitized by Google

Wasserwellen und substituiren wir sonach den Verdichtungen und Verdünnungen von jenen die Erhöhungen und Vertiefungen von diesen, so bildet der Raum von einer Erhöhung zur
Fig. 135. andern ab oder, was einerlei ist, vom tieſsten Puncte bis wieder zur gröſsten Tiefe cd eine Wellenbreite[1]. Legt man in die tieſsten Puncte c und d eine horizontale Linie rs, so giebt diese in α und β die Stellen an, welche die in a und b befindlichen Theile bei einer abermaligen Oscillation erreichen werden, während c und d nach γ und δ gelangen. Die horizontale Linie mn giebt den mittleren Stand aller dieser Puncte an und schneidet die Wellen-Curve in den Puncten p und q, die vom höchsten und tieſsten Puncte um den vierten Theil der ganzen Wellenbreite abstehn. Hier befindet sich also der Punct der Ausgleichung, wo noch keine Wellenbewegung statt findet, und jede aus dem Zustande der Ruhe beginnende Welle muſs also im vierten Theile der ganzen Wellenlänge oder in der Hälfte zwischen dem höchsten und tieſsten Puncte anfangen. Die Gebrüder Weber haben eine sehr bequeme Bezeichnung für die Verdichtungen und Verdünnungen der Wellen, die Wellenberge und Wellenthäler in der Luft gewählt, indem sie beide durch eine linsenförmige Figur anschaulich machen, die für die erstern Querstriche enthält, für die letztern aber bloſs aus einer punctirten Begrenzung besteht. Hierbei versteht sich von selbst, daſs die verdichtende Welle beim Rückgange der Oscillation zu einer verdünnenden wird.
Fig. 136. Nehmen wir daher die wechselnden Stadien der Wellen, so wird im ersten Zeittheile die verdichtende Welle von gegebener Länge den Raum von a bis b durchlaufen und beim An-

1 Der Sprachgebrauch entscheidet nicht mit Bestimmtheit, ob man Wellenbreite oder Wellenlänge sagen solle, ohne daſs jedoch hieraus Miſsverständnisse erwachsen können, da allezeit der Raum von einem Schwingungsknoten bis zum andern verstanden wird, man mag dieses die Breite oder die Länge der Schallwellen nennen. Man kann daher den einen oder den andern dieser Ausdrücke gebrauchen, sobald von Schall- oder Lichtwellen gehandelt wird. Daſs übrigens zwischen den Schwingungsknoten successiv folgende Verdichtungen und ebenso Verdünnungen der Luft statt finden, die man gleichfalls Wellen nennen und von denen man den Ausdruck Breite und Länge nach Gefallen gebrauchen kann, ohne daſs jedoch diese Gröſse noch nicht einmal annähernd, wie beim Lichte, bestimmt ist, folgt aus der Natur der Wellen von selbst.

Digitized by Google

fange des zweiten Zeittheiles von b nach c fortschreiten, während gleichzeitig die verdünnende Welle von b nach a zurückläuft, im dritten Zeittheile geht die verdichtende Welle von c bis d, während die verdünnende von c nach b zurückläuft, die im zweiten Zeitraume aber bereits in a angekommene verdünnende wieder bis b gelangt, im vierten Zeittheile schreitet die verdichtende von d bis e fort, während von d nach c und von b nach a eine verdünnende, von b nach c aber eine verdichtende läuft. Es ergiebt sich hieraus, daſs im 1sten, 3ten, 5ten...., überhaupt im (2n—1)ten Zeittheile die verdichtenden Wellen die nämlichen Stellen einnehmen, worin sich im 2ten, 4ten, 6ten...., überhaupt im 2nten die verdünnenden befinden, daſs ferner im dritten Zeittheile die von c nach b fortschreitende verdünnende Welle der von a nach b gekommenen begegnet, wodurch im Berührungspuncte ihre Bewegung = 0 werden oder ein Schwingungsknoten entstehn muſs, daſs aber die in b von c aus angekommene verdünnende Welle mit der von b nach a zurückkehrenden verdünnenden zusammenfällt und mit ihr gemeinschaftlich nach a gelangt. Das nämliche abwechselnde Verhalten würde statt finden, wenn die erste in 1 angenommene Welle ab eine verdünnende wäre. Hat man daher eine an beiden Enden offene tönende Röhre, die hiernach in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten erhält, so finden von hieraus nach beiden Seiten entgegengesetzte Schwingungen statt, die Welle ist in der einen Hälfte gleichzeitig verdünnend (rücklaufend), wenn sie in der andern verdichtend (fortschreitend) ist; man kann die eine negativ nennen, wenn die andere positiv heiſst. Diesen wichtigen sogenannten *Bernoulli'schen Satz* hat Wheatstone[1] neuerdings factisch dargethan. Er bog eine bleierne Röhre von etwa 13 Z. Länge und 1 Z. Weite so kreisförmig, daſs die beiden offenen Enden einander gegenüber standen, und brachte zwischen diese eine tönende Glasscheibe, welche durch Streichen mit dem Geigenbogen die erste *Chladni'sche* Figur gab. Die hierdurch entstehenden Schwingungen wurden zwar der Luft in der Röhre mitgetheilt[2], muſsten sich aber als entgegengesetzt neutralisiren und gaben daher keine Resonanz. Die Röhre hatte aber

1 Poggendorff's Ann. XXVIII. 446.
2 Vergl. §. 82.

in ihrer Mitte ein Gewinde, vermöge dessen jedes Ende unabhängig vom andern um die Axe der Röhre gedreht werden konnte. Wurde dann die Oeffnung jedes Endes über einen entgegengesetzt schwingenden Theil der Scheibe gehalten, so hörte man sehr deutlich das Mittönen der Luftsäule.

d) Wenn die in einer Röhre sich bewegende Welle gegen eine Wand stöſst, so wird sie zurückgeworfen und behält dabei ihre Beschaffenheit ohne Aenderung, sie bleibt also eine verdichtende oder verdünnende, je nachdem sie das eine oder das andere vorher war, kommt dagegen die Welle am offenen Ende der Röhre an, so hört der durch die Wände geleistete Widerstand auf, die Welle zerflieſst also und kehrt um, jedoch mit veränderter Beschaffenheit, indem aus der verdichtenden eine verdünnende wird und umgekehrt.

e) Da die Geschwindigkeit der Wellenbewegung in gleichartigen elastischen Flüssigkeiten stets die nämliche ist, so werden um so viel mehr Wellenschwingungen in einer gegebenen Zeit erfolgen, je geringer die Wellenbreite und je kürzer also die Zeit ist, welche jede einzelne Welle zum Durchlaufen ihres Raumes bedarf, wodurch also die Höhe des Tones bedingt wird. Hierbei kommt jedoch, bloſs rücksichtlich der Tonhöhe, nicht aber des Klanges, die Weite der Röhre, die Beschaffenheit derselben, ob sie gerade oder krumm ist, und die Masse, woraus sie besteht, nicht in Betrachtung. Die Geschwindigkeit der Bewegung tönender Schallwellen ist übrigens derjenigen gleich, womit der Schall durch die nämliche Gasart fortgeleitet wird, und wenn man diese daher bei mittlerer Temperatur zu etwa 1030 par. Fuſs in einer Secunde annimmt, so würde für die doppelte Breite einer Schallwelle = a die Zahl der Schwingungen[1] in 1 Secunde $N = \frac{1030}{a}$ seyn, wonach der jedesmal erzeugte Ton mit den durch andere schwingende Körper hervorgebrachten vergleichbar wird. Die Fortpflanzung des Schalles wird aber schneller mit der Erhöhung der Temperatur, und aus diesem Grunde stimmen alle Blasinstrumente in der Kälte tiefer, wer-

1 Eine Schwingung, so viel als ein ganzer Pulsus, ist der Hin- und Hergang von a bis b in der Zeichnung und wieder zurück, also von a bis c, weil die Welle in der nämlichen Zeit von b nach c fortschreitet, in welcher sie von b nach a wieder zurückläuft.

Digitized by Google

den dagegen höher, wenn die Temperatur steigt, was namentlich bei denen, die mit dem Munde geblasen werden, durch die Wärme der eingeblasenen Luft bewirkt wird.

39) Aeltere Versuche hatten bereits gezeigt, was auch aus den durch Biot und Hamel angestellten hervorgeht[1], daſs eine an beiden Enden offene Röhre, bei welcher an der einen Oeffnung durch irgend ein Mittel Schwingungen erzeugt werden, in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, und analog den Stäben haben solche Pfeifen dann den ihnen auf die einfachste Weise zukommenden tiefsten Ton. Diesen Fall auf die eben mitgetheilte Darstellung zurückgeführt hätte die Röhre die Länge ac und die Folge der Schwingungen wäre so, wie sie von 1 bis 4 für diese Länge gezeichnet ist. Heiſst dann der Hin- nnd Hergang einer Welle eine einfache Schallschwingung und wird diese α, die Länge der Röhre l genannt, so ist $\alpha = l$ und $1'' : T = \alpha : l$. Werden in einer an beiden Enden offenen Röhre zwei Schwingungsknoten gebildet, so ist Fig.

$$NN' = \alpha,\ AN = \tfrac{1}{2}\,\alpha \text{ und } N'B = \tfrac{1}{2}\,\alpha,$$ 137.

mithin ist $l = 2\alpha$ und also ist $1'' : T = 2\alpha : l$, wonach also doppelt so viele Schwingungen in einer Secunde erfolgen und die höhere Octave gehört wird. Nimmt auf diese Weise die Zahl der Schwingungsknoten zu, wobei allezeit jedes der beiden offenen Enden $= \tfrac{1}{2}\,\alpha$ ist, so wird allgemein

$$n\alpha = l \text{ und } 1'' : T = n\alpha : l,$$

wonach dann die Töne, wenn man den genannten tiefsten durch 1 bezeichnet, wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4.. — n zunehmen. Ist dagegen die Röhre oben verschlossen, so entsteht in der Mitte kein Schwingungsknoten, die Welle ist also doppelt so lang, der Ton ist eine Octave tiefer. Hiernach wäre $\alpha = 2l$, es würde also $1'' : T = \alpha : 2l$ folgen und die Reihenfolge der Töne müſste durch die geraden Zahlen 2, 4, 6.... 2n ausgedrückt werden, wie Daniel Bernoulli gethan hat; indeſs ist die erste Art die gebräuchlichste und man darf dann nur annehmen, daſs bei gedeckten Pfeifen ihre Länge halb so groſs seyn muſs, wenn ein gleich hoher Ton zum Vorschein kommen soll, wodurch man beide Töne auf einander reduciren kann. Uebrigens existiren jene Töne allerdings in demjenigen Register der Orgeln, welches *Gedact* (eigentlich

1 Biot a. a. O. S. 120.

Gedeckt) genannt wird. Das weitere Verfolgen dieser Betrachtungen führt zu der Untersuchung der Töne, die durch gewisse Längen der Luftſäule entstehn, die jedoch erst dann klarer werden, wenn noch einige andere Bestimmungen vorausgegangen sind. Es möge daher hier vorläufig nur noch die Bemerkung Platz finden, daſs die Schwingungen anderer gasförmiger Körper im Allgemeinen den nämlichen Gesetzen unterliegen, die so eben in Beziehung auf die atmosphärische Luft nachgewiesen worden sind.

C. Entstehung der Töne durch Schallwellen, die durch andere Schwingungen hervorgebracht worden sind, oder über das Mittönen, die Resonanz.

39b) Es ist leicht begreiflich, daſs ein jeder der bisher betrachteten Körper auſser den den Schall erzeugenden Schwingungen noch auf vielfache andere Weise sich bewegen könne. Chladni[1] hat dieses ausführlicher nachgewiesen, als nöthig ist, und ein Verfahren angegeben, wie man unter vielen solchen möglichen Bewegungen namentlich zweierlei Arten, die den Ton erzeugenden und andere schwingende, vermittelst eines in einem Schraubstocke gespannten Stabes erzeugen könne, wodurch ähnliche Erscheinungen hervorgebracht werden, als diejenigen, welche Wheatstone vermittelst des *Kaleidophon's*[2] in gröſserer Eleganz erzeugt. Auſserdem ist bereits bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. gezeigt worden, daſs auſser den tongebenden bei diesen gleichzeitig noch secundäre existiren, und es wird sonach aus der Analogie schon wahrscheinlich, daſs ähnliche auch in den Luftſäulen statt finden können, später aber wird gezeigt werden, daſs bei diesen zuweilen zweierlei tönende Wellen neben einander vorhanden sind. Von allen diesen gleichzeitigen Schwingungen möge hier nicht die Rede seyn, sondern bloſs von denen, welche in einem andern, als dem eigentlich tönenden Körper, erzeugt entweder den bereits vor-

1 Akustik S. 212.
2 S. diesen Art. Bd. V. S. 811.
3 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.

Digitized by Google

handenen Ton modificiren oder selbst zur Erzeugung eines neuen dienen. Die hierher gehörigen Erscheinungen sind so ausnehmend zahlreich, daſs ich nur die wesentlichsten Arten derselben mitzutheilen beabsichtigen kann.

40) Tönende feste Körper setzen andere, mit denen sie verbunden sind, in gleichartige Schwingungen. Es war dieses schon seit langer Zeit bekannt, indem unter andern bereits Lahire[1] das Beben eines Strebepfeilers zu Rheims beim Läuten der groſsen Glocke, Huddlestone[2] aber den gegenseitigen Einfluſs der Saiten und selbst der Orgelpfeifen auf einander nachwies, und man entdeckte daher hierin die richtige Ursache der *Resonanz.* Die zahlreichen musikalischen Instrumente mit Saiten oder Stäben haben daher insgesammt oder mindestens die vorzüglichern ohne Ausnahme einen eigenen Resonanzboden, bei dessen Baue es vorzüglich darauf ankommt, durch hinlänglich trocknes und feinfaseriges, möglichst elastisches Holz, durch die erforderliche Gröſse und Dünne für alle Saiten ein dem Ohre angenehmes Mitklingen zu erzeugen. Chladni[3] giebt an, daſs nicht bloſs eine Stimmgabel, deren Ton zuletzt unhörbar wird, wieder sehr vernehmlich zu klingen anfängt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stemmt, sondern daſs man auf letzterem sogar die einzelnen Stellen auffinden kann, wo sie auf einem Schwingungsbogen stehend vernehmlicher klingt, als auf einem Schwingungsknoten. Ein auffallender Beweis des bedeutenden Einflusses der mitklingenden Körper liegt in dem bedeutenden Unterschiede des Tones einer und derselben Stimmgabel, je nachdem sie auf einen festen Stein, ein massives Stück Holz, einen Resonanzboden, eine Eisenplatte, eine Glasscheibe u. s. w. gestützt wird. Maupertuis[4] meinte, damit ein Resonanzboden alle Töne verstärken könne, müsse er aus ungleich langen Fibern bestehn, damit jederzeit eine für den eigenthümlichen Ton geeignete in Schwingungen gesetzt würde, allein dieser Irrthum ist einem andern bereits gerügten[5] gleich, wo-

1 Mém. de l'Acad. T. II. p. 87.
2 Nicholson's Journ. T. I. S. 329.
3 Akustik S. 269.
4 Mém. de l'Acad. de Par. 1724.
5 Art. *Gehör.* Bd. IV. S. 1203.

Digitized by Google

nach auch die Fibern des Paukenfelles im Ohre vermöge ihrer ungleichen Länge jeden einzelnen Ton verstärken sollen; man weiſs jetzt vielmehr, wie leicht alle Körper, so ungleich auch die durch ihre eigenen Schwingungen erzeugten Töne seyn mögen, durch Mittheilung in solche Schwingungen versetzt werden, die den bereits vorhandenen Ton verstärken. Von der gröſsern Vollkommenheit dieser Resonanz leitete man auch den Unterschied des Tones der Instrumente ab. Biot[1] sagt, der schöne Klang der alten italienischen Instrumente von Amati, Guarnerius (Stratuari) u. a. beruhe auf der Resonanz, die durch das hinlänglich trockne Holz erzeugt wird, welcher bleibt, wenn ein solches auch noch so oft auseinander genommen wird, statt daſs ein neues stets einen minder wohlklingenden Ton behält, wie genau dasselbe auch jenem nachgebildet seyn mag; allein ebenso altes und hinlänglich trocknes Holz ist allerdings wohl vorhanden, auch werden jetzt noch Instrumente verfertigt, die jenen alten mindestens sehr nahe kommen. Der Grund jener Vorzüge liegt aber noch tiefer.

Seit 1819 hat Felix Savart durch eine Reihe interessanter Versuche[2] die Gesetze des Verhaltens solcher Körper aufgefunden, deren einer mit einem andern bereits schwingenden in genauer Verbindung steht. Unter andern spannte er eine etwas starke Violinsaite auf ein dickes Bret über einen gewöhnlichen Geigensteg, dessen Füſse jedoch nicht auf dem Brete, sondern auf einer Bleiplatte ruhten, welche selbst unter diesen Füſsen durch zwei Stücke Holz oder Kork unterstützt war, und er erhielt dann beim Streichen der Saite auf der Bleischeibe Chladni'sche Klangfiguren, zum auffallenden Beweise, daſs selbst dieses so wenig elastische Metall durch die Vibrationen der Saite gleichfalls in Schwingungen versetzt wurde. Gab die Saite einen veränderten Ton, so kam auch eine andere Figur zum Vorschein. Hieraus folgte also unmittelbar, daſs auch der Steg, die Unterlagen der Platte und das Bret gleichzeitig mit der Saite schwingen muſsten, und daſs

1 Traité T. II. p. 184.

2 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 225. G. LXVIII. 113. Vergl. Sim. Stratico über die Verschiedenheit gleich hoher Töne in Mem. dell Imp. Re. Instit. del Regno Lomb. T. II. p. 171.

Digitized by Google

zwar die Höhe des Tones zunächst nur durch die Schwingungsmengen der letzteren, die Art des Tones aber oder dasjenige, was oben *Klang* genannt ist, durch die Summe der Schwingungen aller mit ihr verbundenen Theile bedingt werde. Es ist demnach nicht weiter zweifelhaft, daſs hierin die Ursachen der Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Töne zu suchen sind, insofern zwar die nämlichen Töne eines Hornes, einer Flöte, einer Geige u. s. w. eine gleiche Höhe, zugleich aber einen so verschiedenen Klang haben, daſs selbst ungeübte Ohren leichter ihre Unterschiede als geringe Abweichungen der Höhe wahrzunehmen vermögen. Dabei sind zwar diejenigen Schwingungen, in welche die mit dem eigentlich tönenden Körper verbundenen Substanzen versetzt werden, die ich mittelbar zur Unterscheidung von jenen unmittelbaren nennen werde, denen des eigentlich tongebenden analog; allein es ist doch dabei keinen Augenblick zu verkennen, daſs sie gleichzeitig durch die eigenthümliche Beschaffenheit dieser Körper bedingt werden müssen und also, obgleich für sich selbst nicht als tongebend wahrnehmbar, doch den erzeugten Ton zu modificiren vermögen. Savart verfertigte sich ferner zwei ganz gleiche Scheiben von der nämlichen Holzart, befestigte sie an den zwei Enden eines Stabes, strich die obere horizontal gehaltene und fand, daſs auf der untern dann die nämliche Figur als auf der obern zum Vorschein kam, ja es zeigte sich dieses Phänomen auf gleiche Weise auch dann, wenn mehrere solche Scheiben durch wechselnde verticale Stäbe verbunden waren; alle horizontale Scheiben zeigten die nämliche Figur, wenn eine derselben am Rande gestrichen wurde. Eine Anwendung hiervon auf den sogenannten Stimmstock in den Bogeninstrumenten ist leicht zu machen, auch begreift man den Grund, warum die Stelle desselben auf den Ton einen so bedeutenden Einfluſs hat. Schon hieraus wurde es wahrscheinlich, daſs die in dem Stabe erzeugten Wellen longitudinale seyn muſsten, was durch spätere Versuche bestätigt worden ist. Bei der Prüfung der angegebenen Erscheinungen zeigte Le Blanc, daſs eine Glasröhre, vertical auf eine Scheibe gekittet und in longitudinale Schwingungen versetzt, auf der Scheibe Figuren erzeugt, welche eben so rein und bestimmt sind, als diejenigen, die unmittelbar durch das Streichen ihres Randes hervorgebracht werden. Auch diese Erscheinungen sind später durch Savart in ihrem gan-

Digitized by Google

zen Umfange untersucht worden, interessant aber ist die Folgerung, welche sogleich aus der ersten Auffindung derselben entnommen wurde, nämlich daſs man auf diese Weise Stäbe an den geeigneten Stellen der Harmonicaglocken befestigen und letztere dadurch zum Tönen bringen könne, ohne sie mühsam durch Abschleifen gleichmäſsig dick zu machen, um die Ungleichheiten des Tones zu beseitigen, die in Folge ungleichmäſsiger Dicke durch das Reiben ihres Randes beim Umdrehn um ihre Axe entstehn (§. 35.), woran sich die Idee reihte, daſs das geheim gehaltene *Euphon* von Chladni muthmaſslich auf diesem nämlichen Principe beruhe. Nach den hierdurch aufgefundenen akustischen Grundsätzen verfertigte Savart selbst eine Geige, bei welcher alle Theile den theoretischen Bestimmungen der vollkommensten Consonanz gemäſs eingerichtet waren, und zwar mit geradem Deckel und Boden, weil die gekrümmten ein vielfaches verschiedenartiges Durchschneiden der Fibern zur Folge haben, desgleichen mit geraden Oeffnungen, statt der gekrümmten F Löcher. Nach dem Berichte der Commission, welche diese Geige durch Lefebvre, den Musikdirector des Theaters Feydeau, mit einer gewöhnlichen vorzüglichen vergleichen lieſs, war dieselbe in der Nähe minder stark, was Savart von dem rauschenden Mittönen der gekrümmten Flächen ableitete, welches nur in der Nähe hörbar sey, in gröſserer Entfernung aber war ihr Ton ebenso stark und selbst noch wohlklingender[1].

41) Savart[2] hat diese Untersuchungen noch weiter ausgedehnt und als allgemeines Gesetz aufgefunden, daſs, wenn verbundene feste Körper auf einander lothrecht stehn, die longitudinalen Schwingungen des einen transversale im andern erzeugen und umgekehrt. Unter den verschiedenen Apparaten, wodurch sich dieses anschaulich machen läſst, besteht der
Fig. 138. eine aus einer dicken hölzernen Regel B, auf welche ein Becher A′ am einen Ende festgekittet oder fest eingesteckt ist. Auf dem Rande desselben wird der schmale Glasstreifen A

1 Mit dieser Beobachtung stimmt die Erfahrung genau überein, daſs die vorzüglichen Geigen oft in der Nähe bei weitem keinen so angenehmen und starken Ton zeigen, als in gröſserer Entfernung.

2 Ann. Chim. Phys. T. XIV. p. 113. Daraus in Gilb. LXVIII. 113.

festgekittet, welcher mit dem andern Ende auf dem beweglichen Stege C ruht. Streicht man den Becher der Verbindungsstelle gegenüber mit einem Bogen, so versetzt er durch seine Transversalschwingungen den Streifen in longitudinale, die durch aufgestreueten Sand sichtbar werden und dadurch an Interesse gewinnen, daſs man durch eingegossenes Wasser den Ton des Bechers willkürlich tiefer machen kann. Von den verschiedenartigen tönenden Körpern, die sich auf mannigfaltige Weise zur Erzeugung gleichzeitig bedingter Wellen verbinden lassen, sind längliche Scheiben am meisten geeignet und daher auch von Savart am vollständigsten untersucht worden, insbesondere um den Uebergang der longitudinalen Schwingungen in transversale und umgekehrt aufzufinden. Einen einfachen, hierzu geeigneten Apparat bildet die hölzerne Regel Fig. 139.
B mit den beiden darin eingelassenen Glasstreifen C und C′ und dem längern hierauf ruhenden Glasstreifen A und noch einem auf diesem vertical festgekitteten Glasstreifen A′. Wird dieser Apparat so gehalten, daſs A′ eine horizontale Lage hat, und mit Sand bestreuet, so entstehn beim Streichen mit dem Bogen am Rande des Streifens A auf jenem die den Longitudinalschwingungen zugehörigen Knotenlinien, deren Lage die entgegengesetzte wird, wenn man den ganzen Apparat umkehrt. Wird dagegen der Streifen A in eine horizontale Lage gebracht und A′ mit einem wollenen Läppchen gestrichen, so hört man den vorigen Ton und auf A entstehn die Knotenlinien der transversalen Schwingungen. Hierbei wäre unbegreiflich, wie der verhältniſsmäſsig so kurze Streifen A′ durch longitudinale Schwingungen einen so tiefen Ton erzeugen könne, als A durch transversale, wenn man nicht annehmen wollte, daſs die erstern durch die stärkern letztern bedingt würden. Dieses wird dadurch bestätigt, daſs man den Streifen A′ verlängern kann, bis er longitudinal schwingend den nämlichen Ton giebt, als A durch transversale Schwingungen, und ersterer dann die nämliche Figur zeigt, wenn er für sich oder durch die Transversalschwingungen von A in longitudinale Schwingungen versetzt wird. Offenbar müssen also beide Streifen in solche sich gegenseitig bedingende Schwingungen versetzt werden, als die Zeichnung zu gröſserer Deutlichkeit Fig. 140.
darstellt.

Das nämliche Verhalten zeigt folgender Versuch. Man

Fig. 141. suche auf dem 25 Zoll langen Streifen A den zweiten Längenton, bemerke die Figur, die sich dabei bildet, kitte ihn in den aufgefundenen Knotenlinien auf die verticalen Streifen A′ und A″, bestreue ihn mit Sand und bringe ihn durch Reiben mit einem Tuchlappen in longitudinale Schwingungen, so entsteht ein tieferer Ton mit weiter von einander abstehenden Knotenlinien, und zwar der nämliche, den die verticalen Scheiben A′, A″ mit einem Bogen gestrichen geben. Vertauscht man die Streifen A′, A″ mit längeren, so wird der Ton tiefer und der Streifen A vertritt also hier die Stelle des Bogens. Daſs letzteres der Fall sey, ersieht man aus einem Versuche von Le Blanc. Dieser kittete eine Röhre oder einen schmalen Glasstreifen fast horizontal auf den Rand eines mit seinem Fuſse befestigten Weinglases, rieb das eine Ende desselben mit einem wollenen Läppchen und erhielt den Ton des Glases sehr wohlklingend, auch tiefer, wenn in dasselbe Wasser gegossen war. Ebendieses Resultat geht unverkennbar hervor, wenn man eine etliche Fuſs lange und dünne Glasröhre lothrecht auf die Mitte einer beliebig gestalteten Scheibe von 1 bis 3 und mehr Zoll Durchmesser aufkittet und die Röhre entweder durch Reiben mit einem nassen Läppchen oder durch Querstriche mit einem Violinbogen in longitudinale oder transversale Schwingungen versetzt, indem dann die Scheibe jederzeit die entgegengesetzten Schwingungen durch die Figuren des aufgestreuten Sandes kenntlich macht. Savart scheint hierbei vorauszusetzen, daſs jederzeit die transversalen Schwingungen den Ton bedingen, allein bei längeren Röhren und kleineren Scheiben ist dieses sicher nicht der Fall, denn wenn man die Stellen wechselt, wo die Röhre zwischen den Fingern gehalten wird, so ändert sich diesem gemäſs auch der Ton und gleichzeitig die Figur auf der Scheibe. Auffallend bei diesem Versuche ist, daſs durch dieses Mittel auch die am wenigsten elastischen Körper zum Schwingen gebracht werden; denn ich habe nicht bloſs Scheiben von Glas, Holz und den härteren Metallen, sondern selbst auch von Blei auf diese Weise zur Erzeugung von Figuren benutzt, die ebenso regelmäſsig und scharf begrenzt sind, als die Chladni'schen auf Glasscheiben; bloſs mit dünnen Scheiben von Tabaksblei und Kartenpapier war es mir nicht möglich. Stemmt man eine Glasröhre vertical auf einen Resonanzboden und

bringt man sie zum Tönen, so erzeugt sie die ausgedehntesten und vielfachsten Figuren auf dem Resonanzboden. Man kann auch zwei Scheiben an beiden Enden eines Glasstabes rechtwinklig aufkitten und den Stab in Schwingungen versetzen, um auf beiden Scheiben Figuren zu erhalten, ja SAVART versichert, sogar mehrere 12 bis 15 Zoll lange und 1 bis 1,25 Z. breite Streifen (statt deren man auch Scheiben wählen kann) mit kürzeren Scheiben so verbunden zu haben, wie die Zeichnung darstellt. Dieses ganze System ruht entweder bloſs auf dem längern und breitern Streifen M, oder vermittelst dessen und der lothrechten Stützen auf dem Brete B. Wird dann der Streifen M durch Reiben in longitudinale Schwingungen versetzt, so gerathen alle lothrechte Streifen A in transversale Schwingungen, alle horizontale B in longitudinale, oder umgekehrt, wenn M ursprünglich transversale erhält. Im ersten Falle haben die Sandfiguren auf dem ersten, dritten, fünften .... Streifen die nämliche Anordnung nn, nn ...., auf dem zweiten, vierten, sechsten die entgegengesetzte NN, NN ...., und sind verschieden, je nachdem der Ton von M höher oder tiefer ist. Daſs es übrigens Bedingungen geben könne, unter denen zwei rechtwinklig verbundene Streifen beide in transversale Schwingungen gerathen, ist wohl nicht gut in Abrede zu stellen. Fig. 142.

Als geschichtliche Notiz mag hier noch erwähnt werden, daſs SAVART bei der Bekanntmachung dieser Versuche wiederholt bemerkte, diese Reihe von Erscheinungen habe CHLADNI nicht gekannt; letzterer erwies jedoch genügend [1], daſs er sie vollkommen gekannt habe, denn eben hierauf beruhte die Construction seines *Euphons*, welches er anfangs geheim zu halten für gut fand.

42) Auf gleiche Weise, als feste Körper in anderen festen, mit ihnen verbundenen Körpern jeder Art Schwingungen erzeugen, welche die eigenthümliche Beschaffenheit der Töne oder das, was wir genau bezeichnend Klang nennen, bedingen, setzen sie auch die *Luft* in Vibrationen, die theils zu ihrer Verstärkung, theils zur Modificirung ihres Klanges dienen. Um dieses recht auffallend wahrzunehmen, darf man nur eine Stimmgabel anwenden, die, wie oben erwähnt wurde,

---

1 Ann. Ch. Phys. XX. 74. G. LXVIII. 160.

Digitized by Google

an Stärke des Tones so bedeutend zunimmt, wenn man ihren Stiel auf einen Resonanzboden stützt. Wenn diese, in Schwingungen versetzt und an ihrem Stiele in der Hand gehalten, gar nicht gehört wird, so nimmt man den Ton sogleich wahr, sobald man ihre eine Zinke horizontal über die Oeffnung eines Medicinglases hält, und man gewahrt bald, daſs die im Glase eingeschlossene, mittönende Luft die Verstärkung des Schalles bewirkt. Zu mehrerer Ueberzeugung darf man nur so lange Wasser in das Glas gieſsen, bis beim geeigneten Blasen in die Oeffnung der nämliche Ton zum Vorschein kommt, den die Stimmgabel giebt, und dann den Versuch wiederholen, so wird die Verstärkung noch auffallender. In diesem Falle ist also zwar die Stimmgabel der den Ton erzeugende Körper, der gehörte Ton aber ist eine Folge der Luftschwingungen im Glase.

Handelt es sich zuerst bloſs um das Mittönen oder die Verstärkung und Modificirung der aus den Schwingungen fester Körper entstandenen Töne durch die gleichzeitigen, eben hierzurch erzeugten Schwingungen der Luft, so giebt es auſser der bereits erwähnten noch eine Menge sonstiger Erscheinungen. Insbesondere darf angenommen werden, daſs die in sphäroidisch gestalteten Räumen eingeschlossene Luft ausnehmend leicht in Schwingungen versetzt wird und auf den Klang von sehr bedeutendem Einflusse ist. Bei den Schwingungen einer Glocke wird die in ihrem Innern eingeschlossene Luft zum Mittönen gebracht; die Glocke trägt, wie Weber[1] sagt, ihren Resonanzboden in sich und tönt daher um so viel stärker als eine Scheibe. Biot[2] erzählt auf die Aussage von J. J. Rousseau, daſs in den Theatern Italiens der Fuſsboden des Orchesters in möglichst wenigen Puncten mit dem Gebäude verbunden ist und auf leichten Rahmen ruht; unter ihm aber ist ein hohler, nach vorn offener Raum, welcher nach seinem Ausdrucke wie ein groſses Sprachrohr die Töne, durch gleichzeitiges Mitklingen mit den Instrumenten erregt, zusammt diesen in das Theater sendet, genauer genommen aber wirkt der Boden wie ein Resonanzboden. Mit Uebergehung anderer Fälle, bei denen nicht bloſs durch feste Körper, sondern auch

1 Wellenlehre S. 546.
2 Traité T. II. p. 186.

Digitized by Google

durch Luftschwingungen gasförmige Körper zum Mittönen gebracht werden, erwähne ich zunächst ein hierauf direct beruhendes Instrument, *Gender* genannt, welches Stamford Raffler aus Ostindien mitgebracht hat. Dieses besteht nach Wheatstone[1] aus 11 Metallplatten, die in den am leichtesten entstehenden Schwingungsknoten in jedem mit 2 Löchern durchbohrt und an zwei durch diese gezogenen Fäden horizontal aufgehangen sind. Unter jedem steht ein verticales Fig. 143. Bambusrohr, welches mit einem Deckel verschlossen oder geöffnet werden kann. Die in letzterem eingeschlossene Luftsäule ist für den Ton der über ihm hängenden Platte gestimmt, und werden dann diese mit einem kleinen Klöppel geschlagen, so hört man bei bedeckten Rohren einen nur schwachen und rauhen Ton, bei geöffneten aber einen sehr wohlklingenden, welcher von der schwingenden Luftsäule herrührt. Das Instrument hat 11 Töne, welche die sogenannten ganzen Töne unserer Tonleiter mit Ausnahme des 4ten und 7ten geben und sonach also zwei Octaven umfassen. Wheatstone hat bei Gelegenheit der Prüfung dieses Instruments noch andere interessante Untersuchungen über mittönende Luftsäulen angestellt und vermittelst einer Stimmgabel, die er über dem Mundloche einer Flöte schwingen lieſs, aufgefunden, daſs der Ton bedeutend mehr verstärkt wird, wenn der elastische Körper und die Luftsäule gleichmäſsig stimmen. Aehnliche Versuche mit der Maultrommel und Röhren mit schwingenden Luftsäulen erwähne ich hier nur beiläufig.

Bei weitem am wichtigsten sind diejenigen Luftschwingungen, welche durch die Schwingungen elastischer Häute, Blätter, Bleche u. s. w. erzeugt den wahrgenommenen Ton hervorbringen. Dahin muſs ich aus bereits erwähnten Gründen das Pfeifen mit dem Munde, die durch die Bänder im Kehlkopfe erzeugte Stimme der Menschen und Thiere und mit Uebergehung einzelner minder bedeutender die Töne der sämmtlichen Rohrinstrumente rechnen. Beim Pfeifen mit dem Munde, wo keine Luftsäule vorhanden ist, die vermöge ihrer Länge so tiefe Töne hervorbringen könnte, setzt der ausgestoſsene oder eingezogene Luftstrom die Häute der Lippen in

1 Quarterly Journ. of Science. New Ser. N. V. p. 175. Daraus in Schweigg. Journ. LIII. 329.

Digitized by Google

Schwingungen, selbst auch die Zähne, wenn das eigenthümlich scharf klingende Pfeifen durch diese geschieht, wobei zwar diese Vibrationen nicht selbst, wohl aber die gleichzeitig erregten der Luftsäule, welche die bebenden Körper berührt, den vernehmbaren Ton geben. Die menschliche Stimme beruht auf den Schwingungen der Bänder der Stimmritze nicht unmittelbar, wohl aber mittelbar, indem durch diese die angrenzende Luftsäule in Schwingungen geräth, und eine gleiche Bewandtniſs hat es mit allen vibrirenden Blättern der Hoboen, Clarinetten, Fagotte und der gesammten Rohrwerkzeuge. Da es erforderlich seyn wird, der Untersuchung aller durch Luftschwingungen tönender Instrumente noch einen besondern Abschnitt zu widmen, so verweise ich darauf rücksichtlich des Einzelnen.

43) Umgekehrt zeigen sich sehr häufig auch Schwingungen *fester elastischer Körper*, die durch ursprüngliche der Luft erzeugt werden, so unglaublich es auch auf den ersten Blick scheinen mag, daſs ein so dünnes, durch ausnehmende Flüssigkeit so sehr sich auszeichnendes Medium, ohne eigentliche fortschreitende Bewegung, starre Körper in so schnelle Vibrationen zu versetzen im Stande seyn soll. Inzwischen zeigt ein allgemein bekanntes Phänomen, nämlich das rollende Getöse des Donners, welches auf der See und hohen Bergspitzen meistens wegfällt, daſs selbst aus groſser Ferne kommende Luftschwingungen massive Gebäude beben machen, indem man dabei ein Zittern der Thüren und ein Klirren der Fenster wahrnimmt. Als bekannt darf ich gleichfalls das Beben der verschiedensten festen Körper, sogar massiver Mauern in den Kirchen, beim Tönen der tiefsten Pfeifen groſser Orgeln voraussetzen; allein es ist nicht nothwendig, diese seltener sich zeigenden Phänomene abzuwarten, um die Frage zu beantworten, ob es wirklich Luftschwingungen sind, welche feste Körper in Vibrationen versetzen, indem ein leichter Versuch hierzu genügt. Wenn man eine Membrane, z. B. die oben §. 23. beschriebenen sehr dünnen von elastischem Gummi, besser eine Thierblase oder ein Blatt Papier über einem Ringe oder hohlen Cylinder ausspannt, mit Sand bestreuet und über demselben einen etwas starken Ton vermittelst eines Blaseinstruments erzeugt, so gewahrt man nicht bloſs das Hüpfen des Sandes, sondern es kommt auch eine sehr kenntliche

Digitized by Google

Klangfigur zum Vorschein. Am besten und leichtesten geräth dieser Versuch, wenn man den Ton mit dem bloſsen Rohre eines Fagottes oder hauptsächlich einer Clarinette dicht über der Membrane erzeugt, welcher scharf und gellend ist und den schwingenden Theilen sehr nahe gebracht werden kann; auch läſst sich der Einwurf leicht beseitigen, als ob das Hüpfen des Sandes durch den Luftstrom des kleinen tönenden Werkzeuges verursacht werde, wenn man in geringem Abstande unter der Oeffnung ein Stück Papier hält oder diese Oeffnung nicht über die Membrane selbst, sondern nur neben dem hohlen Cylinder münden läſst, über welchem die Membrane ausgespannt ist. Savart[1] hat durch genauere Untersuchung aufgefunden, daſs solche Schwingungen in einem zweiten Körper durch die zwischenliegende Luft am leichtesten dann erzeugt werden, wenn beide der Zahl nach in einem rationalen Verhältnisse zu einander stehn. Er bediente sich zu seinen Versuchen der Glasscheiben, versetzte diese durch Streichen mit einem Violinbogen in transversale Schwingungen und fand, daſs die auf den ausgespannten Membranen erzeugten Klangfiguren sich änderten, wenn die über ihnen gehaltenen Glasscheiben eine horizontale oder geneigte Lage hatten. Die erzeugten Figuren sind den Chladni'schen vollkommen ähnlich, sollen sogar auch durch die menschliche Stimme zum Vorschein kommen und lassen sich vorzüglich schön auch durch aufgestreuetes Lycopodiumpulver sichtbar machen. Dabei ist es gleichgültig, ob die in der Luft fortgehenden Schallwellen, die dann feste Körper in mittelbare Schwingungen versetzen, ursprünglich in der Luft, wie beim Donner, oder durch die Vibrationen fester Körper erzeugt worden sind. Einen leichten Beweis der Thatsache erhält man durch den interessanten Versuch, wenn man zwei Saiten auf verschiedenen Instrumenten völlig unison stimmt oder überhaupt zwei tönende Körper, wovon der eine aber eine transversal schwingende Saite seyn muſs, genau gleich stimmt, über die Saite einen schmalen, etwas gebogenen Streifen Papier hängt und in beliebiger Entfernung den gleichen Ton erzeugt, worauf dann der Streifen herabgeworfen wird. Sind die Töne nicht unison, so fällt der Streifen nicht herab, weil zwar die Saite dann gleichfalls

1 Ann. Chim. Phys. XXVI. 6.

Digitized by Google

erbebt, aber nicht hinlänglich stark, indem die ungleichzeitigen Schwingungen von ihr selbst und die der Luft einander stören. WHEATSTONE[1] macht die auf solche Weise erzeugten Wellen dadurch sichtbar, daſs er die Oeffnung eines Blaseinstruments etwas unter Wasser taucht, auf welchem diese dann zum Vorschein kommen, wobei jedoch der Einwurf sich nicht ganz beseitigen läſst, daſs sie durch den mechanischen Impuls des Luftstromes oder durch das Beben des Instruments erzeugt seyn könnten. Ungleich interessanter und zugleich für die Theorie sehr wichtig ist dagegen das durch SAVART[2] aufgefundene Verfahren, nicht bloſs diese mittelbar erzeugten Schwingungen, sondern zugleich auch die Existenz der Schwingungsknoten in tönenden Luftsäulen sichtbar zu machen. Zu diesem Ende verfertigt man Ringe von sehr dünnem Fischbein oder einer sonstigen geeigneten Substanz, spannt über diese eine zarte Membrane, wozu das sogenannte Strohpapier (*papier végétal*), Goldschlägerhaut oder die Amniumhäutchen der kleinen Montgolfièren am meisten geeignet sind, vermuthlich auch sehr dünne Membranen von elastischem Gummi, läſst diesen Apparat an einem Faden, welcher unten in drei am Ringe befestigte Fäden ausläuft, so herabhängen, daſs die gebildete Fläche horizontal ist, bestreuet sie mit Sande und senkt sie in einer vertical stehenden, tönenden gläsernen Röhre herab, so hüpft der Sand an allen Stellen der Luftsäule, wo diese schwingt, und ruht in den Schwingungsknoten. Hierbei erhält man also theils solche Schallfiguren transversaler Schwingungen, die durch die longitudinalen der Luftsäule in der Röhre erzeugt werden, theils kommen die letztern, die man an sich nicht wahrzunehmen vermag, hierdurch deutlich zum Vorschein. W. HOPKINS[3] hat diese Versuche mit gleichem Erfolge wiederholt.

Hier verdient ein Phänomen angegeben zu werden, welches zwar nicht unmöglich ist, aber wegen seiner geringen Wahrscheinlichkeit um so mehr an historischem Interesse ge-

---

1 Ann. Chim. Phys. XXIII. 316.

2 Ann. Chim. Phys. XXVI. 5. Vergl. T. XXXII. Was SAVART an dieser letztern Stelle gegen CHLADNI folgert, ist durch W. WEBER hinlänglich widerlegt worden. S. Schweigger's Journ. L. 176.

3 London and Edinburg Phil. Mag. N. XV. p. 225.

Digitized by Google

winnt. Es herrscht nämlich die Sage, man könne Gläser durch einen starken, in ihren Kelch gerichteten Schrei zersprengen. Morhof[1] und Bartoli[2] erzählen dieses als Thatsache, und Chladni[3] versichert, von einem glaubwürdigen Manne als Augenzeugen das Nämliche gehört zu haben. Auch mir erzählte der bekannte göttingische Philosoph Feder, dessen Glaubwürdigkeit wohl niemand in Zweifel ziehn wird, daſs er als Schüler einem Manne zugesehn habe, welcher in einem Wirthshause dieses Kunstsück gegen Eintrittsgeld zeigte, indem er mehrere Gläser vor sich auf einen Tisch stellte, ihren Ton durch Anschlagen mit einem Schlüsselchen aufsuchte und dann ebendiesen kurz und möglichst scharf hineinschrie, worauf dasselbe ohne weitere sonstige Veranlassung zersprang. Durch den Ton einer Trompete soll diese Wirkung nicht hervorgebracht werden, wohl aber nach Bartoli durch den einer Violinsaite, und dabei versteht sich von selbst, daſs dünne und sehr hell klingende Gläser am meisten dazu geeignet sind. Chladni scheint die Sache in Zweifel zu ziehn und ich theile seine Ansicht, weil ein Glas zwar durch eine solche Ursache allerdings zum Tönen gebracht wird, aber keineswegs so stark, als durch Anschlagen oder Streichen mit einem Bogen; dagegen meint er, der Erfolg würde statt finden, wenn das Glas vorher etwa mit einem Diamant einen feinen, bei gewöhnlicher Betrachtung nicht auffallenden Riſs erhalten hätte, denn eine Glasscheibe zerspringe nie beim Tönen durch einen Bogenstrich, auſser wenn sie schon einen feinen Riſs habe. Merkwürdig ist hierbei die Thatsache, daſs schon im Talmud[4] unverkennbar auf dieses Phänomen hingedeutet wird, indem daselbst die Meinungen der Rabbinen angeführt werden, wie es mit dem Schadenersatze zu halten sey, wenn das Ge-

---

1 Stentor hyaloclastes, sive de scypho vitreo per vocis humanae sonum rupto. Kil. 1683. 4.

2 Trattato del suono e de' tremori armonici. Bologna 1680.

3 Akustik S. 271.

4 Baba Kama. Fol. 18. col. 2. Die interessanten Worte heiſsen: Tradit Rame, ſil. Iecheskel, gallus gallinaceus, qui extendit caput suum in vacuum vasis vitrei, clauxeritque in eo, ut frangatur, persolvitur damnum integrum. Et dixit Raf Joseph: verba familiae Magistri: equus qui hinnit et asinus qui rudit et fregit vasa, persolvit (dominus) dimidium damnum. S. Chladni neue Beiträge S. 87.

Digitized by Google

schrei eines Hahns oder eines Esels oder eines Pferdes ein Glas zersprengt habe.

44) Es kann nach den bisher mitgetheilten Thatsachen nicht wohl zweifelhaft seyn, daſs durch Luftschwingungen auch andere Luftmassen in Schwingungen versetzt werden müssen, und es läſst sich also als Folgerung der allgemeine Satz aufstellen, daſs alle Schallwellen, sie mögen durch feste oder flüssige Körper erzeugt worden seyn, bei unmittelbarer Verbindung mit andern gleichfalls festen oder elastisch flüssigen Körpern oder bei vorausgegangener Fortpflanzung durch dieselben in diesen mittelbare Schwingungen erzeugen, die entweder für sich hörbar sind und als solche den eigentlichen Ton geben, oder nicht selbst vernehmbar den Klang der Töne bedingen. Hierbei findet noch auſserdem das allgemeine Gesetz statt, daſs die mittelbaren Schwingungen mit den ursprünglichen in einem gewissen rationalen Zusammenhange stehn, indem sie an Menge einander gleich sind oder die leichtesten Verhältnisse 5:4, 3:2 und 2:1 bilden. Diesemnach wird der Ton im Allgemeinen verstärkt, indem gleich viele Schwingungen in der nämlichen Zeit am leichtesten erzeugt werden, weswegen der Ton einer Stimmgabel über jedem offenen Medicinglase an Stärke zunimmt, welchen eigenthümlichen Ton auch die darin enthaltene Luftmasse für sich haben mag, die Saiten auf einem Instrumente aber erzeugen leicht das Mittönen der harmonischen Dreiklanges und auf gleiche Weise hört man auch bei der Aeolsharfe nach dem ersten entstandenen Tone bald die Terze, Quinte, Octave und so fort bis zur Doppeloctave.

Man begreift leicht, daſs die Menge der Erscheinungen, die aus diesem allgemeinen Gesetze folgen, sehr groſs seyn muſs, und ich will daher nur einige der vorzüglichsten namhaft machen. Vor allen Dingen werden in gewölbten Räumen eingeschlossene Luftmassen leicht in mittelbare Schwingungen versetzt, durch welche der an sich unhörbare Schall vernehmbar wird. Hieraus erklärt sich das summende Getöse, eine Art von Brausen, in manchen Muscheln, wenn man ihre Oeffnung an das Ohr hält. Nach den Versuchen der Gebrüder Weber[1] geben Röhren, wenn man sie gegen das Ohr hält,

1 Wellenlehre u. s. w. S. 521.

durch das gewöhnliche am Tage herrschende Geräusch einen schwachen, aber doch hörbaren Ton, welcher der Länge der in ihnen enthaltenen Luftsäule zukommt. Sehr sinnreich aber haben die Römer bei ihren erstaunlich groſsen und noch obendrein oben offenen Theatern den Schall, welcher sonst aus so groſser Entfernung gar nicht wahrnehmbar gewesen wäre, dadurch verstärkt, daſs sie Einschnitte unter den Sitzen anbrachten und Gefäſse auf keilförmige Unterlagen gestützt hineinsetzten, um die in diesen enthaltene Luftsäule zum Mittönen zu bringen. Vitruv [1] erzählt dieses von einigen Theatern in Italien und auch in Griechenland, namentlich zu Korinth, von woher Mummius diese ehernen Gefäſse nach Rom brachte, auch giebt er weitläuftig an, wie dieselbe für die verschiedenen Töne abgestimmt und zur besten Verstärkung des Schalles nach der Gröſse der Theater gestellt gewesen wären, desgleichen daſs man des wohlfeilern Preises wegen sie an manchen Orten aus gebrannter Erde verfertigt habe. Gemeiniglich glauben die Akustiker, was auch Vitruv andeutet, die Gefäſse selbst seyen zum Mittönen bestimmt gewesen, in welchem Falle die Anwendung der ehernen unbegreiflich scheint [2], allein ich kann nicht anders glauben, als daſs bloſs die eingeschlossene Luft zur Verstärkung des Schalles diente, in welchem Falle ein Abstimmen derselben überflüssig wurde. Aus gleichem Grunde trifft man eine bedeutende Verstärkung des Schalles in allen denjenigen Gemächern, in denen mehrere gewölbte oder überhaupt nur hohle Räume vorhanden sind, und das gemeine Vorurtheil, daſs sich der Schall in diesen fange und dadurch, ebenso wie durch Säulen, geschwächt werde, streitet gegen alle Erfahrung. Groſse Kirchen mit vielen solchen Räumen verstärken den Schall so ausnehmend, daſs mäſsig lautes Reden stärker darin schallt, als in kleinen Zimmern. Hiermit stimmt dann der bereits erwähnte [3] Umstand überein, daſs alte verfallene, mit vielen Löchern und Vertiefungen versehene Mauern, namentlich Bogen und Wölbungen, die vorzüglichsten Echo's geben.

Diese Untersuchung hängt mit einer wichtigen, aber zu-

1 Architectura L. V. cap. 5.
2 Vergl. Biot Traité II. 186. Chladni Akustik S. 252.
3 S. Art. *Echo.* Bd. III. S. 92.

gleich ausnehmend schwierigen Aufgabe zusammen, nämlich gröſsere und kleinere Säle so einzurichten, daſs sie den jedesmaligen akustischen Forderungen am besten genügen. Unter den vielen Betrachtungen, die hierüber angestellt worden sind, entnehme ich die Hauptsachen aus den Werken von J. P. v. Rohde[1], L. Catel[2] und Chladni, mit dem Bemerken, daſs die allgemeinen Grundsätze sehr einfach, specielle Erfordernisse aber oft wegen obwaltender unüberwindlicher Schwierigkeiten gar nicht zu befriedigen sind. In den meisten Fällen handelt es sich bloſs um eine gleichmäſsige Verbreitung des Schalles, in den wenigsten dagegen um eine künstliche Verstärkung, die wiederum entweder allgemein seyn oder so eingerichtet werden soll, daſs die Schallwellen in einem gewissen Raume zusammenfallen und dann nur an diesem das Ohr afficiren. Die hierauf beruhenden *Sprachgewölbe*, deren Untersuchung mit den Gesetzen der Fortpflanzung des Schalles zusammenhängt, werden unten nochmals erwähnt werden, indem hier bloſs von derjenigen Verstärkung des Schalles die Rede ist, die durch mittelbare Schwingungen erzeugt wird. Wie bereits bemerkt wurde, findet hauptsächlich durch hohle Räume eine Verstärkung des Schalles statt, und da man diese in der Regel sucht, so liegt hierin unmittelbar keine Unannehmlichkeit, vielmehr ist es oft überraschend, wie ausnehmend wohlklingend eine Musik wird, deren Schall sich von einem Zimmer aus in Kreuzgewölben und langen klosterartigen Gängen verbreitet. Inzwischen kann auch diese Wirkung zu stark werden, wenn die erzeugten Vibrationen zu lange anhaltend und für sich wahrnehmbar sind, ohne die eigentlichen Haupttöne bloſs zu unterstützen, in welchem Falle die letztern von einem unangenehmen Summen, einer Art Brausen, begleitet sind, demjenigen ähnlich, was man beim Gebrauche eines Hörrohrs wahrnimmt. In den meisten Fällen ist jedoch diese Wirkung eine Folge der Reflexion und nicht des Mittönens. Feste Körper werden um so viel leichter in mittelbare Schwingungen versetzt, je elastischer, je dünner und je weniger sie mit weichen Körpern verbunden sind. Fuſsteppiche, wollne und seidne Tapeten, gepolsterte Meubeln und

1 Theorie des Schalles für Baukünstler. Berl. 1800.
2 Vorschläge zur Verbesserung d. Schauspielhäuser. Berl. 1802.

Digitized by Google

sonstige Dinge dieser Art sind daher in dieser Beziehung und nicht bloſs durch gehemmte Reflexion dem Klange nachtheilig, dagegen soll man nach Chladni[1] den Concertsaal zu Sanssouci mit dünnen, bloſs am Rande auf Leisten aufgenagelten Bretern ausgetäfelt und davon eine gute Wirkung erhalten haben. Die ausnehmende Stärke des Schalles in neuen Gebäuden, insbesondere wenn lange Reihen von Zimmern mit einander zusammenhängen, wird gleichfalls hieraus erklärlich, ist aber im Art. *Echo* bereits erwähnt worden. Uebrigens werden alle bei akustischen Räumen zu berücksichtigende Aufgaben aus den hier mitgetheilten Gesetzen des Mitklingens und aus denen, die sich auf die Sprachzimmer §. 85. beziehn, leicht erklärbar. Wie sehr die Reflexion den Schall verstärke, ersieht man unter andern daraus, daſs man die Stimme eines Rufenden nur mit Mühe in 2000 Fuſs Entfernung hört, die aber bei einem Echo von 1000 Fuſs Abstand ohne Schwierigkeit vernommen wird. Hierauf beruht auch die von Gough[2] untersuchte Schallverstärkung durch groſse Flächen und das durch Blackburn[3] beobachtete parabolische Schallbret in der Kirche zu Attercliffe.

D. Absolute Schwingungszahlen; Stöſse, Combinationstöne, Nebentöne und Tonverhältnisse.

45) In unmittelbarer Verbindung mit den bisherigen Untersuchungen steht die Erläuterung der Art und Weise, wie durch die verschiedenen Instrumente Töne vermittelst transversaler oder longitudinaler Schwingungen, und zwar sowohl unmittelbarer als auch mittelbarer, erzeugt werden; um jedoch diesen Theil der Akustik leichter verständlich zu machen, will ich die Untersuchung der absoluten Schwingungszahlen vorausschicken.

Bei den Untersuchungen über die Entstehung des Schalles wurde gleich anfangs der Satz aufgestellt, daſs ein Ton nur dann entstehe, wenn eine genügende Menge in gleichen

1 Akustik S. 252.
2 Nicholson's Journ. 1805. Febr. G. XXIII. 358.
3 Phil. Journ. or Ann. of Philos. N. XXXI. p. 21.

Digitized by Google

Zeitintervallen einander folgender Pulsus jeder Art vorhanden wäre, und alle spätere zahlreiche Erfahrungen bestätigten nicht bloſs diesen Hauptsatz der Akustik, sondern erweiterten ihn auch dahin, daſs die Tonhöhe der Menge der in einem gleichen Zeitraume erfolgenden Vibrationen proportional sey. Desgleichen führte die Vergleichung der Längen gleich dicker und gleichmäſsig gespannter Saiten der nämlichen Art, wie nicht minder der schwingenden Luftsäulen, zu dem Resultate, daſs jede doppelte Menge von Schwingungen die Octave desjenigen Tones giebt, welcher durch die einfache erzeugt wird. Da dieses aus der Theorie der Pendelschwingungen folgt und aus leicht zu erhaltenden Erfahrungen hervorgeht, so konnte hierüber schon in den frühesten Zeiten keine Ungewiſsheit herrschen; weit schwieriger dagegen war die Aufgabe, die absoluten Schwingungsmengen aufzufinden, die einem gewissen bestimmten Tone zugehören, da diese insgesammt für eine unmittelbare Zählung zu zahlreich sind und die genaue Ausmessung derjenigen Gröſsen, welche bei den verschiedenen tönenden Körpern diese Menge bedingen, viel zu groſsen Schwierigkeiten unterliegt. Sauveur war der erste, welcher gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts diese Frage auf eine sinnreiche Weise zu beantworten versuchte, allein seine nicht vollendeten Untersuchungen, ebenso wie die seines Nachfolgers Sarti, sollen unten in Verbindung mit den neuesten, auf gleiche Weise erhaltenen Resultaten näher beschrieben werden. L. Euler[1] maſs bei gespannten Saiten die in der oben §. 13. mitgetheilten Formel enthaltenen Gröſsen und bestimmte hiernach die Anzahl der Schwingungen einer solchen von 2,5 rheinl. Fuſs Länge und durch ihr zehntausendfaches Gewicht gespannten zu 353,5. Aus der Vergleichung des erhaltenen Tones mit dem ungestrichenen a setzte er letzteres zu 392 Vibrationen in einer Secunde, und da das groſse C sich hierzu wie 3 zu 10 verhält, so ergab sich für das groſse C $0{,}3 \times 392 = 117{,}6$ oder 118 mit einer ausnehmend groſsen Genauigkeit, wenn man die damalige tiefere Stimmung in Anschlag bringt. Inzwischen verkannte der groſse Geometer die aus den Schwierigkeiten solcher Messungen nothwendig folgende Unsicherheit dieser Bestimmung nicht und gab dabei

1 Tentamen novae theoriae musices. Petrop. 1739. 4. C. 6.

Digitized by Google

später[1] diese Zahl zu 125 an, ja selbst[2] nur zu ungefähr 100. Auch Chladni[3] hat dieses Problem nicht vollständig gelöst, vielmehr gesteht er selbst, daſs wegen der Ungleichheit der Stimmung an verschiedenen Orten eine scharfe Bestimmung unmöglich sey und er daher aus den bekannten Angaben ungefähr das Mittel zugleich auf solche Weise gewählt habe, daſs die Zahlen nach den Potenzen von 2 stiegen. Bei den von ihm mitgetheilten Bestimmungen liegt auſserdem unverkennbar noch das Verhältniſs der Länge tönender Luftsäulen zur Fortpflanzung des Schalles durch die Luft zum Grunde, welches übrigens auch genügt, der wahren Bestimmung so nahe zu kommen, daſs die Abweichungen leicht für eine Folge der an verschiedenen Orten nicht gleichen Stimmung gelten können; denn indem die 32fuſsige Orgelpfeife als tiefster Ton mit 32 Schwingungen in jeder Secunde angenommen wird, so giebt das Product dieser beiden Gröſsen 1024 Fuſs, also sehr nahe die Entfernung, auf welche der Schall in einer Secunde durch die Luft fortgepflanzt wird. Nach Chladni gehören dann folgende Längen der Orgelpfeifen, Tonhöhen und Schwingungszahlen zusammen, die aus den angegebenen Gründen, und weil sie so leicht im Gedächtniſs zu behalten sind, für gewöhnliche Fälle, wo es auf höhere Genauigkeit nicht ankommt, vollkommen genügen.

Das	32fuſsige	C, der tiefste gebräuchliche Ton, giebt	32	Schwing.
—	16 —	C, auch Contra C genannt,	— 64	—
—	8 —	C, auch groſse C genannt,	— 128	—
—	4 —	c, ungestrichene oder kleine c	— 256	—
—	2 —	c, eingestrichene $\bar{c}$	— 512	—
—	1 —	c, zweigestrichene $\bar{\bar{c}}$	— 1024	—
—	½ —	c, dreigestrichene $\bar{\bar{\bar{c}}}$	— 2048	—

Die Folge der Töne geht dann auf gleiche Weise fort, jedoch reichen die Orgeln selten bis über den Anfang der dreige-

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. De motu aëris in tubis. §. 62.

2 Briefe (an eine deutsche Prinzessin) über verschiedene Gegenstände aus der Naturlehre. Br. 3. Uebers. von Kries. Th. I. S. 16.

3 Akustik S. 34.

strichenen Octave, die übrigen Instrumente aber nicht leicht noch eine Octave höher, und man kann daher nach einer genähert richtigen Bestimmung das sechsgestrichene c mit 16384 Schwingungen im Allgemeinen als die Grenze der wahrnehmbaren Töne betrachten.

Chladni[1] hat zugleich ein einfaches Mittel angegeben und selbst in Anwendung gebracht, um die absoluten Schwingungsmengen der Töne aufzufinden, welches jedoch gleichfalls nur zu genäherten Resultaten führt. Man spannt nämlich einen etwa 6 Lin. breiten, fast 1 Lin. dicken und etliche Fuſs langen eisernen oder von einem sonstigen elastischen Metalle verfertigten Stab unbeweglich fest in einen Schraubstock vertical gerichtet ein, läſst ihn schwingen und sucht die Anzahl der in einer Secunde vollendeten Schwingungen möglichst genau auszumitteln, nachdem man zuvor die Länge des aus dem Schraubstocke hervorragenden Endes scharf bestimmt hat. Demnächst wird der Stab so weit tiefer im Schraubstocke herabgelassen, bis das hervorragende Ende nach abermaligem Festschrauben durch Anschlagen oder Streichen mit einem Violinbogen einen Ton giebt, welcher mit einem zur Vergleichung gewählten Instrumente völlig unison klingt. Indem aber die Schwingungsmengen des nämlichen Stabes in gleichen Zeiten sich umgekehrt wie die Quadrate der Längen verhalten, so ist durch das bekannte Verhältniſs beider Längen und die einer derselben zugehörige Schwingungszahl die der andern durch einfache Proportion gegeben. Chladni schlägt als am meisten für solche Versuche geeignet vor, einen Stab zu wählen, welcher in 1 Sec. 4 Schwingungen macht, von diesem dann den achten Theil aus dem Schraubstocke hervorragen zu lassen, welcher also $8^2 \times 4 = 256$ Vibrationen in gleicher Zeit vollenden und also das ungestrichene c geben wird; einen solchen Metallstab nennt er *Tonmesser* oder *Tonometer*.

46) Daniel Bernoulli[2] bestimmte die absolute Menge der Schwingungen aus der Vergleichung der Töne, welche zwei mit dem Munde angeblasene Pfeifen gaben, und fand für eine solche von 4 Fuſs Länge und am einen Ende offene 115 Schwingungen in 1 Secunde, für eine damit gleich gestimmte

1 A. a. O. G. V. 1.

2 Mém. de l'Acad. 1762. p. 467.

Saite aber 116; allein Dülong bemerkt mit Recht, daſs weder die Länge der schwingenden Luftsäule genau gemessen, noch die eigentliche Tonhöhe hierbei scharf bestimmt werden kann, und auſserdem nahm er das Dichtigkeitsverhältniſs des Quecksilbers zur Luft bei 28 Z. Druck = 12000 : 1 an, welches eine Temperatur von 39° C. voraussetzt, die man unmöglich annehmen kann. Die Angabe stimmt auch mit der vorher mitgetheilten nicht überein, denn die doppelten Schwingungen für einfache genommen gäbe eine vierfuſsige Pfeife nur 230 oder 232 Schwingungen, statt daſs Chladni 256 annimmt. Biot[1] nimmt als richtig an, daſs ein fester schwingender Metallstab (Chladni's Tonometer), wenn er 128 Vibrationen in einer Secunde macht, den nämlichen Ton giebt, als das tiefste C der Claviere, und eben diesen erhielt er als Grundton vermittelst einer 4 Fuſs langen gedeckten Pfeife. Da aber die tönenden Schallwellen gleiche Geschwindigkeit haben, als diejenigen, durch welche der Schall in der Luft fortgepflanzt wird, so darf man bei einer gedeckten Pfeife nur die doppelte Länge in den Raum dividiren, welchen der Schall in 1 Secunde durchläuft, um die Anzahl der Vibrationen in der nämlichen Zeit zu finden. Die Geschwindigkeit des Schalles setzt er = 337,18 Met., und wenn diese und die Länge der Pfeife in Linien verwandelt werden, so erhält man

$$\frac{337{,}18 \times 443{,}296}{2 \times 576} = 129{,}75$$

als Anzahl der Wellen für C in 1 Sec. Diese Gröſse liegt zwischen 128 nach Chladni und 131,5 nach Sarti ungefähr in der Mitte, allein bei der Berechnung ist auf die Temperatur nicht Rücksicht genommen, welche das erhaltene Resultat nach Biot's eigener Angabe bedeutend abändert; auch geht aus den unten (E. b.) mitgetheilten Untersuchungen hervor, daſs wegen der Unbestimmtheit des Anfangspunctes der Vibrationen in Pfeifen auf diese Weise keine genauen Bestimmungen zu erhalten sind.

Den höchsten Grad von Genauigkeit dieser Bestimmung hat Dülong[2] bei denjenigen Versuchen erreicht, die er zur

---

1 Traité T. II. p. 143.

2 Ann. Chim. et Phys. XLI. 113. Baumgartner's Zeitschr. Th. VI. S. 474. Der gelehrte Hr. Verf. war so gütig, mir persönlich nicht

Ausmittelung der respectiven Wärmecapacität der Gasarten anstellte und wobei die hier vorliegende Frage gleichfalls erörtert wurde. Zum Zählen der Vibrationen bediente er sich der *Sirene*, eines für die akustischen Versuche so wesentlichen Instruments, daſs deren Beschreibung einen eigenen Artikel ausmachen könnte, wenn es nicht des Zusammenhanges wegen besser wäre, diese hier einzuschalten.

Die *Sirene* (*Sirène*, vom Gesange der mythischen Sirenen so benannt) ist ein von Caignard de la Tour[1] erfundener, sinnreich construirter Apparat, um die beiden Hauptsätze der Schalllehre anschaulich zu machen, nämlich daſs durch bloſse Pulsus, von welcher Art sie auch seyn mögen, wenn sie nur regelmäſsig und hinlänglich zahlreich in einer gegebenen Zeit auf einander folgen, ein Ton erzeugt wird, und daſs die Höhe dieses Tones der Menge der in gleichen Zeiten erfolgenden Pulsus direct proportional ist. Vermittelst derselben kann daher gezeigt werden, daſs die Pulsus, die durch bloſse Unterbrechungen der ausströmenden Luft, des ausströmenden Wassers oder Quecksilbers entstehn, auf gleiche Weise und noch leichter einen Ton geben, als die Stöſse der Zähne eines hinlänglich schnell um seine Axe geschwungenen Rades gegen ein elastisches und daher leicht genug ausweichendes Blech nach Savart. Das Instrument kann mit einigen auſserwesentlichen Abänderungen construirt werden, es scheint mir jedoch am zweckmäſsigsten, ohne Rücksicht hierauf die Beschreibung nach den besten Exemplaren mitzutheilen, die ich selbst gesehn und gebraucht habe. Der wesentlichste Theil ist das genau abgedrehte messingne Rad oder die

Fig. 144. u. 145.

bloſs die gebrauchten Apparate, sondern auch die Art des Experimentirens zu zeigen.

1 Ann. Chim. Phys. T. XII. p. 167. T. XVIII. p. 438. T. XXXV. p. 42. Vergl. G. LXXXVI. 265. Die dabei zum Grunde liegende Idee ist früher schon durch Stancarius aufgefaſst worden. Dieser bediente sich eines um seine Axe geschwungenen Rades von 3 Fuſs Durchmesser, in dessen Kranz 200 hervorstehende Nägel geschlagen waren. Beim Durchschneiden der Luft durch dieselben entstanden Töne, deren Höhe der Umdrehungsgeschwindigkeit proportional war, und aus der Zahl der Umläufe in 1 Secunde konnte die Zahl der Pulsus gefunden werden. Es sind indeſs keine genaueren Bestimmungen der erhaltenen Resultate angegeben worden. S. Comm. Bonon. T. I. p. 180.

Digitized by Google

Scheibe A auf einer verticalen, oben und unten in feine Stahlspitzen auslaufenden Axe p q festsitzend, und von einem Durchmesser, welcher am zweckmäſsigsten 3 par. Zoll beträgt, jedoch auch bis 4 Zoll und darüber steigen kann. Da das Rad sehr schnell und mit groſser Leichtigkeit stets gleichmäſsig umlaufen muſs, so ist erforderlich, daſs die in Vertiefungen laufenden Stahlspitzen der Axe hinlänglich polirt sind; auch thut man wohl, die Vertiefungen, worin sie laufen, in Schrauben anzubringen, um bei etwaigem Auslaufen das Schlottern zu vermeiden. Die Dicke des Rades muſs so weit, als die Zähne reichen, sehr gleichmäſsig und nicht stärker als etwa eine par. Linie seyn, jedoch ist es vortheilhaft, demselben an dem nicht gezahnten Theile eine etwas gröſsere Dicke zu geben, um dadurch eine gröſsere Schwungkraft und somit eine länger dauernde gleichmäſsig geschwinde Rotation nach aufhörendem oder unterbrochenem Impulse zu erreichen. In den Rand sind bis zu einer Tiefe von fast drei Linien 100 Zähne in der Art ausgeschnitten, daſs die stehn gebliebenen Theile und die weggenommenen Oeffnungen genau gleiche Breite haben, überhaupt ist es wesentlich, daſs die nach dem Centrum hin zunehmende Verminderung des Raumes oder der Gröſse der Scheibe auf die Zähne und ihre Zwischenräume gleichmäſsig vertheilt werde, daſs beide also in allen Theilen der Peripherie ihre gleiche Gröſse beibehalten, daſs die Zähne genau kantig gearbeitet und von ebenen, fein ausgeschliffenen Flächen begrenzt sind. Unter den Zähnen befindet sich die kurze verticale Röhre a, deren äuſserer Durchmesser gleichfalls 3 Linien beträgt und welche oben mit einer horizontalen Platte bedeckt ist, worin sich ein 2 Lin. langer Einschnitt befindet. Dieser Einschnitt kommt also gerade unter die Mitte der Zähne, ein gut gearbeitetes Instrument aber erfordert zugleich, daſs derselbe mit den Zähnen und ihren Zwischenräumen vollkommen parallel laufe, genau dieselbe Breite habe und gleich diesen scharfkantig, mit ebenen Flächen versehn und fein ausgeschliffen sey, auch muſs die untere Fläche der Zähne die obere Platte der Röhre zwar nicht berühren, ihr jedoch so nahe kommen, daſs man kaum ein feines Blättchen Papier dazwischen schieben kann. Hieraus folgt also, daſs beim Umlaufen der Scheibe um ihre Axe jeder über dem Einschnitte in der Cylinderplatte sich befindende Zahn diesen

Digitized by Google

verschlieſst und dann wieder öffnet, wenn er um seine Dicke weiter gerückt ist, so daſs der Zwischenraum zwischen zwei Zähnen über der Oeffnung steht. Dieser Wechsel des Oeffnens und Verschlieſsens erfolgt also dann, wenn der äuſsere gezahnte Rand der Scheibe um eine Zahndicke weiter rückt, folglich bei vorhandenen 100 Zähnen 100mal bei einem Umlaufe, und wenn irgend eine Flüssigkeit, von welcher Art und mit welcher Geschwindigkeit es seyn mag, aus jener Oeffnung strömt, so wird ihre Bewegung durch jeden jener Wechsel aufgehalten, sie faſst also gegen jeden ihren Strom durchschneidenden Zahn, und diese Stöſse erfolgen bei guter Arbeit der Maschine nicht bloſs sehr gleichmäſsig, sondern auch bis zu einer weit hinausliegenden Grenze ungemein schnell, nämlich so viele hundert Male in einer Secunde, als Umläufe der Scheibe statt finden. Weil die Scheibe bei dieser schnellen Bewegung eine starke Schwungkraft erhält, so muſs der Bügel CDE, zwischen welchem sich ihre Axe befindet, hinlänglich massiv und stark seyn, das untere Ende der Röhre a aber wird entweder auf die Düse eines Blasebalges gesteckt, welcher sich zu gröſserer Bequemlichkeit für gewöhnliche Versuche mit atmosphärischer Luft in dem Kästchen M befinden kann, oder sie wird mit dem Luftstrome aus einem Gasometer verbunden, oder man bläst mit dem Munde hinein, oder läſst den Strom irgend einer Flüssigkeit hindurchflieſsen, indem man der Maschine die umgekehrte Lage giebt, als welche in der Zeichnung ausgedrückt ist. Um endlich eine besondere Vorrichtung entbehrlich zu machen, wodurch das Umlaufen des Rades bewirkt wird, sind die Oeffnungen zwischen den Zähnen des Rades schräg geschnitten, so daſs die Ebenen ihrer begrenzenden Flächen ungefähr einen Winkel von etwa 30° oder etwas mehr mit der Axe der Scheiben bilden, wonach also der Strom der Flüssigkeit, dessen Geschwindigkeit auf den erzeugten Ton übrigens keinen Einfluſs hat, mit einer seiner Stärke proportionalen gröſsern Schnelligkeit das Rad selbst umtreibt. Man kann daher mit diesem kleinen Instrumente vom tiefsten Tone des Violoncelles anfangen und durch Steigerung der Stärke des Strömens und dadurch bewirktes schnelleres Umlaufen bis zum höchsten Tone der Geigen gelangen.

Bis so weit ist die Sirene das geeignetste Instrument, um

Digitized by Google

zu beweisen, daſs bloſse Pulsus eines jeden Körpers, sobald sie regelmäſsig und hinlänglich schnell auf einander folgen, einen Ton zu erzeugen vermögen und daſs die Höhe des Tones der Geschwindigkeit dieser Pulsus proportional ist; denn so wie die durch bloſses Augenmaſs geschätzte Geschwindigkeit des Umlaufens wächst, nimmt die Tonhöhe nicht sprungweise, sondern ganz allmälig zu und wächst durch die geringsten, dem Ohre nicht angenehmen Abstufungen, bleibt aber eine beliebige Zeit sich selbst gleich, so lange sich die Geschwindigkeit der Scheibe nicht ändert. Soll aber die Menge der einen gewissen Ton bedingenden Pulsus aufgefunden werden, so erfordert die Maschine ein Räderwerk, um das Zählen mechanisch zu verrichten. Die nothwendigen Bedingungen hierbei sind zuerst, daſs eine möglichst groſse Zahl von Pulsus gezählt werden könne, und dann, daſs die Zählung, sobald man will, augenblicklich beginne und ebenso schnell wieder aufhöre, um hiernach das Zeitintervall mit gehöriger Schärfe zu messen. Unter den verschiedenen Mechanismen, wodurch dieser Zweck erreicht werden kann, scheint mir folgender am bequemsten und sichersten. Um die Räder in Bewegung zu setzen, dient das Getriebe k, welches in das Rad R eingreift. Das Getriebe hat eine konische Oeffnung und ist auf die gleichfalls konische Spindel der Scheibe so aufgesteckt, daſs sie etwas in die Höhe gehoben an der Umdrehung der letztern nicht Theil nimmt, etwas abgedrückt aber sich festklemmt und selbst umgedreht das Räderwerk in Bewegung setzt. Damit dieses momentan eintrete, drückt man mit dem Finger auf den Knopf α, damit die Gabel γ das Getriebe k herabtreibe und auf der konischen Spindel feststecke, worauf jedoch die Gabel γ sofort durch die Feder φ, welche gegen die Scheibe σ wirkt, wieder in die Höhe gehoben wird, um auf der Oberfläche des Getriebes keine Reibung zu verursachen. Nach beendigtem Versuche geschieht die Auslösung ebenso einfach und schnell durch einen Druck auf den Hebelarm β, welcher im Charniere ψ leicht beweglich ist, mit der Gabel an seinem andern Ende π die Platte σ unmittelbar, durch die Gabel γ die Platte δ und durch diese das an ihr festsitzende Getriebe k hebt, so daſs dieses an dem fortdauernden Umlaufen der dünnern Spindel nicht weiter Theil nimmt, woran noch obendrein die Reibung der Platte δ an der Oberfläche der

Gabel γ hindert, der Hebelarm π ist schwerer, als der andere β, sinkt daher sich selbst überlassen bis auf das Ende der Feder φ herab; damit aber das Getriebe nicht zu frühzeitig herabsinke und das Zählen nicht vor dem Momente des Niederdrückens des Knopfes α beginne, später aber keine Reibung der Scheibe δ an der Gabel γ statt finde, drückt die an der Strebe μ befestigte Feder $\omega\lambda$ gegen das Ende des Hebelarmes β, und bewirkt durch ihre Reibung, daſs der Hebel in jeder Lage ruht und zugleich den Stab $\alpha\gamma$, also mit diesem auch das Getriebe k an der Scheibe δ in der erforderlichen Höhe hält. Ist aber der Knopf α und mit ihm die Scheibe δ und das Getriebe k herabgedrückt, letzteres aber auf der Spindel festgesteckt, so hebt die starke Feder φ beim Nachlassen des Druckes die Gabel γ nicht so hoch, daſs sie mit der Scheibe δ in Berührung kommt und Reibung erzeugt, bis man nach Beendigung des Versuches den Hebelarm β vermittelst des auf ihm sitzenden Knopfes ganz herabdrückt, worauf die Feder $\lambda\omega$ sein Aufsteigen unmöglich macht.

Die Einrichtung der Räder ist zwar willkürlich, allein zur nähern Uebersicht dienen folgende Angaben[1]. Das Getriebe k hat 6 Zähne, das dadurch bewegte Rad R hat 90, auf dem untern Theile der Spindel desselben ist ein Zeiger aufgesteckt, dessen leicht federnde Hülse gestattet, daſs man ihn auf jede beliebige Zahl, also beim Anfange des Versuches auf 0 der auf einer unter ihm befindlichen Scheibe aufgetragenen Theilung stellen kann. Diese erste Zeigerscheibe enthält 15 gröſsere Abtheilungen und zwischen jeder 3 kleinere, im Ganzen also 60, wovon die erstern ganze, die letztern Viertels-Umläufe der gezahnten Scheibe angeben, so daſs also, vorausgesetzt man könne die Hälfte eines solchen Theiles noch hinreichend schätzen, die Messung bis auf etwa 12 einzelne Pulsus herabgeht; im Ganzen aber läſst sich mit diesem Zeiger bis 1500 Pulsus zählen. Auf dem obern Ende der Spindel des Randes r befindet sich wiederum ein Getriebe mit 6 Zähnen, in welches die beiden Räder ϱ und ϱ', das eine mit 60, das andere mit 61 Zähnen, eingreifen. Diese sind also soge-

1 Der hier beschriebene Mechanismus ist in der Zeichnung nicht ausgedrückt, weil er die Figuren undeutlich machen würde und auch ohne dieses leicht verstanden wird.

Digitized by Google

nannte *hunting wheels*, jedes mit einem Zeiger versehn, deren ersterer einmal umläuft, wenn das Rad R 10 Umläufe beendigt, die Zeigerscheibe ist daher nur in 10 Theile getheilt, der Zeiger des letztern aber läuft zwar mit diesem gleichmäſsig um, bleibt aber bei jedem Umlaufe beider um den Abstand eines Zahnes zurück und die ihm zugehörige Scheibe enthält daher gleichfalls 10 gröſsere Abtheilungen, zwischen jedem aber noch 5 kleinere, im Ganzen also 60, die auch auf der andern bemerkt werden können, um den Unterschied beider schneller zu übersehn. Werden demnach beim Anfange der Messung eines Tones alle Zeiger auf 0 gestellt, so lassen sich nach der Beendigung die Zahl der Pulsus messen, und diese Messung reicht bis $100 \times 15 \times 10 \times 60 = 900000$; inzwischen könnte man noch weiter gehn, wenn man beim Experimentiren die ganzen Umläufe des letzten Zeigers beachten wollte.

Dülong bemerkt mit Recht, daſs man die Versuche mit Anwendung der Sirene beliebig wiederholen und dadurch die Genauigkeit so weit treiben könne, wie man wolle, ja es ist selbst nicht nothwendig, bei jedem neuen Versuche wieder von 0 der sämmtlichen Zeiger anzufangen, vielmehr kann man den Anfang jedes folgenden Versuchs unmittelbar an das Ende des vorhergehenden anknüpfen, ungeachtet Fehler der Theilung bei einem in dieser Hinsicht so einfachen Instrumente nicht zu erwarten sind. Vor allem verdient aber die ausnehmend sinnreiche Methode des Experimentirens, die der genannte Gelehrte angewandt hat, beachtet zu werden. Derselbe hatte eine kleine Orgel, die nur etwas über eine Octave umfaſste, mit gut gestimmten und einen ihrer Gröſse genau angemessenen Ton gebenden Pfeifen verfertigen lassen. An der Seite der Claviatur befand sich eine Oeffnung, in welche die Sirene gesteckt wurde, und der Blasebalg, welcher sie tönen machte, konnte mit zugelegten Gewichten so lange beschwert werden, bis der willkürlich verstärkte Luftstrom bleibend den erforderlichen Ton gab, welcher mit einer der Orgelpfeifen genau unison klang. War dieses vollständig erreicht, so wurde das Zeigerwerk der Sirene in Bewegung gesetzt und die Zeit genau gemessen, bis dieses wieder gesperrt wurde. Auf diese Weise wurde aufgefunden, daſs das eingestrichene c (c) 500,4 Schwingungen in einer Sexagesimalsecunde hat und durch eine

Pfeife von 0,6 Meter Länge hervorgebracht wird. In Beziehung auf diese letztere Angabe darf nicht übersehn werden, daſs die Töne tiefer werden, wenn die Temperatur abnimmt, und daſs es daher nöthig war, die bei diesem Versuche beobachtete Wärme von 22° C. zu bemerken. Dülong hat durch seine Versuche zugleich aufgefunden, daſs die Schwingungsmengen der Luftsäulen von 0° an gerechnet bei einer Temperatur von t° um die Gröſse $= \sqrt{1+0{,}00375\,t}$ wachsen und also die bei irgend einer Temperatur $= t$ gefundenen Schwingungszahlen $= N$ für eine andere Temperatur $= t'$ in

$$N' = N\sqrt{\frac{1+0{,}00375\,t'}{1+0{,}00375\,t}}$$

verwandelt werden, was er wenigstens zwischen 4° und 22° bestätigt fand. Insofern aber der Ton ohne Zweifel durch eine Stimmgabel bestimmt wurde, was ich unter andern auch daraus schlieſse, daſs ich die gebrauchten Stimmgabeln bei Dülong gesehn habe, und es also hier auf die Vergleichung der Stimmgabel, auf welche der Einfluſs der Temperatur nicht bedeutend und vorerst noch unbestimmt ist, mit den Angaben der Sirene ankommt, so ist diesemnach die angegebene Zahl der Schwingungen $= 500{,}4$ als eine absolute zu betrachten, die von der durch Chladni angenommenen $= 512$ um $-11{,}6$ abweicht. Bei der letztern Angabe fehlt die Bestimmung der Temperatur; es läſst sich jedoch voraussetzen, daſs sich die Resultate der ohnehin nicht absolut genauen Versuche auf mittlere Wärme beziehn, wie sie durch Dülong bestimmt worden ist.

47) Gerade im Anfange des vorigen Jahrhunderts brachte Sauveur ein Mittel in Vorschlag, die absoluten Schwingungsmengen, die einem gegebenen Tone zugehören, aufzufinden, welches Sarti später abermals empfahl, Hällström neuerdings mit seiner bekannten Gewandtheit im Experimentiren zur Anwendung brachte, Scheibler aber so eben durch einige nicht unwesentliche Abänderungen des Verfahrens und der angewandten Apparate bis zur gröſsten Vollendung erhob, nämlich die sogenannten *Stöſse*, *Schläge* oder *Battements*. Damit die folgende Betrachtung deutlicher werde, wird nöthig seyn, zuvörderst anzugeben, was hierunter eigentlich zu verstehn sey, um so mehr, als man diese interessante Erscheinung bei weitem nicht so allgemein zu beachten pflegt,

Digitized by Google

als sie verdient, und meistens wegen der Aufmerksamkeit auf die aus ihnen oft entstehenden *Combinationstöne* übersehn hat.

Wenn zu einem Tone eine gewisse Anzahl Schwingungen $= r$, zu einem andern aber $= s$ Schwingungen gehören, beide im Verhältniſs $= a:b$ zu einander stehn, so müssen bei gleichzeitigem Anstimmen derselben $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ Stöſse in irgend einer gegebenen Zeit erfolgen. Angenommen zwei Töne seyen völlig gleichgestimmt, so fallen ihre Schwingungen stets zusammen und es kann kein anderer Erfolg hieraus hervorgehn, als daſs der Ton eine verstärkte, aber stets sich gleichbleibende Wirkung auf das Ohr hervorbringe, wie dieses bei beiden gleichgestimmten Saiten des nämlichen Tones auf den Tasten-Instrumenten der Fall ist. Gehören dagegen zur Erzeugung eines Tones r Schwingungen und tönt gleichzeitig ein anderer von $r + 1$ Schwingungen, so werden die letztern hinter den erstern stets weiter zurückbleiben, bis die r^{te} von jenem mit der $r + 1$sten von diesem zusammenfallen. Berücksichtigt man zugleich, daſs die Schallwellen aus abwechselnden Verdichtungen und Verdünnungen bestehn, so fällt im angegebenen Falle die erstere mit der letztern, man könnte sagen eine positive mit einer negativen, zusammen, die sich ausgleichen und die Wirkung vermindern, anstatt sie zu vermehren, dagegen werden nach $2r$ Vibrationen des ersten und $2(r+1)$ Vibrationen des zweiten Tones die positiven beider zusammenfallen, und hieraus muſs eine gewisse Wirkung, eine Verstärkung des Tones entstehn, die den sogenannten *Stoſs* oder *Schlag* (*battement*) giebt. Ist demnach das Verhältniſs der Vibrationen $\frac{r}{a} = \frac{s}{b} = n$ gegeben, so werden $\frac{n}{2}$ Stöſse in einer gegebenen Zeit für die Vielfachen von r und s erfolgen. Scheibler[1] hat diese theoretische Betrach- Fig. 146.

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Erfunden und ausgeführt von Heinrich Scheibler. Essen 1834. 8. Scheibler wendet bloſse Subtraction der Vibrationszahlen an, wodurch die Sache allerdings deutlich gemacht und selbst für die verschiedenen Octaven mit Consequenz durchgeführt werden kann. Hat z. B. ein Ton 880, ein anderer 872 Vibrationen in einer Secunde, so giebt $880 - 872 = 8$, also $\frac{8}{2} = 4$ Stöſse in einer Secunde u. s. w.

Digitized by Google

tung durch eine instructive Figur sinnreich erläutert. Die Schallwellen zweier Töne, von denen 15 des einen in gleicher Zeit als 16 des andern erfolgen, fangen am Endpuncte mit 0 gleichzeitig an, und da die letztern im Verhältniſs von $\frac{1}{16}$ kürzer sind, so bleibt jede um $\frac{1}{16}$ zurück, sie erreichen sich jedoch einander nach der erforderlichen Zeit, aber es fällt die Vertiefung der einen mit der Erhöhung der andern zusammen, bis sie nach Verlauf des zweiten Zeittheiles beide mit ihren Erhöhungen zusammenfallen und den Stoſs erzeugen. Hieraus folgt dann von selbst, daſs der durch beider Schwingungen erzeugte Ton im Maximo anfangen, dann allmälig bis zum Minimum abnehmen und wieder bis zum
Fig. Maximum wachsen muſs, welcher Erfolg, durch die Zeichnung
147. dargestellt, das eigentliche Wesen der Stöſse anschaulich macht und zugleich den Beweis liefert, daſs jede ganze Schallwelle aus einem Fortschreiten und einem Rücklaufen besteht, wie Dan. Bernoulli von den Schwingungen der Luftsäulen nachgewiesen hat (§. 37. c.), daſs man demnach die einfachen Pulsus allgemein positiv und negativ nennen kann [1].

Bleiben wir zuvörderst bei diesen Stöſsen an sich stehn, wie sie sich ganz auf die angegebene Weise zeigen, so entdeckt man dieselben bald da, wo sie von selbst entstehn oder künstlich dargestellt werden, sobald man sie nur mit gehöriger Aufmerksamkeit beachtet. Am leichtesten erhält man sie, wenn man bei einem durch 2 Saiten erzeugten tiefen Tone eines Forte-Piano die eine Saite absichtlich so weit tiefer stimmt, daſs das Ohr den Ton jeder einzelnen als unmerklich verschieden erkennt. Werden dann beide gleichzeitig durch die nämliche Clavis angeschlagen, so hört man deutlich das wellenartige Wachsen und Abnehmen, und das von beiden reflectirte Sonnenlicht zeigt sie gekräuselt, statt daſs sie gleichstimmend als blanke Fläche erscheinen. Das Zeitintervall zwischen zwei Maximis der Intensität des erzeugten gemeinschaftlichen Tones ist am kleinsten bei gröſster Ungleichheit der

1 Unter den Stimmgabeln, die ich der Güte des Herrn Schmalzer verdanke, finde ich zwei, bei deren gleichzeitigem Tönen man sehr bald bloſs die Stöſse, die erzeugenden Töne selbst aber gar nicht hört. Ob hierbei vielleicht zufällige völlige Gleichheit der Stärke beider Töne mitwirkend sey, vermag ich nicht zu entscheiden.

Stimmung beider, wird aber gröſser, je näher man sie der gleichen Stimmung bringt, und müſste bei absoluter Gleichheit unendlich werden, wobei sich von selbst versteht, daſs das ganze Phänomen aufhört wahrnehmbar zu seyn, wenn die Coincidenzen in zu langer Zeit erfolgen und daher der Wechsel der Stärke des Tones mit der bei den meisten Instrumenten statt findenden Abnahme desselben verschwindet. Auf gleiche Weise hören sie aber auch dann auf, wahrnehmbar zu seyn, wenn sie einander so nahe liegen, daſs sie ebenso wenig, als die den Ton bedingenden Vibrationen, einzeln unterscheidbar sind. Hat man auf die hier angegebene Weise einmal die Stöſse kennen gelernt, so findet man sie bei vielen andern Erscheinungen leicht wieder. So zeigen sie sich namentlich sehr auffallend beim Tönen groſser Thurmglocken, ganz denjenigen Betrachtungen gemäſs, wonach die Erzeugung des Schalles bei diesen (oben §. 34.) erklärt worden ist, ferner bei Glasröhren, langen Metallstäben und silbernen Löffeln, wenn man sie an einem Faden herabhängen läſst und mit den Fingern die Enden des Fadens ins Ohr bringt. Liegen die Stöſse einander sehr nahe, z. B. bei tiefen verschieden gestimmten Tönen, namentlich der Orgelpfeifen, so erzeugen sie ein widerliches Gerassel, ein unangenehmes Geräusch, und hieraus wird zugleich das sogenannte Schlagen der Töne zweier Instrumente und der Umstand erklärlich, daſs es auf den meisten Violoncello's einen Ton giebt, welcher nicht zum reinen Klange gebracht werden kann, weil die Schwingungen der Saite mit denen des obern Resonanzdeckels so zusammenfallen, daſs einander sehr nahe liegende Stöſse erzeugt werden.

48) Aus dem bisher Gesagten ergiebt sich von selbst, daſs man aus der Menge der Stöſse, die je zwei Töne von bekanntem Verhältnisse ihrer Schwingungsmengen in einer bestimmten Zeit geben, die absolute Zahl der Schwingungen eines Tones auffinden könne. Sauveur[1] scheint dieses zuerst

1 Hist. de l'Acad. de Paris 1700. p. 134. Sauveur bestimmte später die absolute Zahl der Vibrationen aus dem Gewichte, der Länge und der Spannung einer Metallsaite, auf die Weise, als dieses durch Bernoulli und später durch L. Euler geschehn ist, und fand für das tiefste A des Forte-Piano, also unser groſses A, 242 Schwingungen, wonach er auch einsah, daſs die früher von ihm ge-

aufgefunden zu haben, zeigte es der Akademie an, diese ernannte eine Commission zur Prüfung seiner Angaben, allein es war merkwürdig, daſs ihm damals die Versuche nicht gelingen wollten, weswegen die Untersuchung nicht weiter verfolgt, sondern bloſs den Physikern und Musikern zur nähern Betrachtung empfohlen wurde. Daſs er die eigentlichen Stöſse, das erwähnte periodische Wallen der Töne, richtig beobachtet habe, unterliegt wohl keinem Zweifel, aber er ging offenbar in der Sache zu weit, sofern er die Consonanz überhaupt von der Abwesenheit der Stöſse ableitete, obwohl vor Augen liegt, daſs man beim Stimmen der Tasteninstrumente die völlige Gleichheit beider Saiten durch Beachtung der Stöſse am besten erreichen kann; allein die Versuche zur Bestimmung der absoluten Schwingungsmengen hat er mit Orgelpfeifen angestellt, die sich hierzu weniger eignen, weil man die minder scharf klingenden Töne derselben so genau nicht unterscheiden kann. Ferner hat er mit Unrecht angenommen, daſs jedes Zusammenfallen zweier in gleicher Zeit statt findenden Schwingungsmengen einen Stoſs gebe, und hiernach ist die von ihm gefundene absolute Menge von Vibrationen nur ungefähr halb so groſs, als sie eigentlich seyn müſste, denn nach ihm soll bei den Stimmungen ein Ton von 100 Schwingungen in einer Secunde zum Grunde liegen, wie ihn eine 5 F. lange Pfeife giebt, eine 40 F. lange gäbe dann nur 12,5 und die möglichst kürzeste von $\frac{1}{16}$ Zoll 6400 als höchsten auf diese Weise zu erzeugenden Ton. Es folgt aber aus dem, was oben §. 39. mitgetheilt worden ist, daſs alle diese Schwingungsmengen doppelt zu nehmen sind, wenn sie mit der Wahrheit übereinkommen sollen.

Erst 1796 wiederholte Sarti[1] die nur unvollkommen bekannt gewordenen Versuche Sauveur's und zeigte sie in der Akademie zu Petersburg, wobei er sich zweier Pfeifen von 5 Fuſs Länge, eines Monochords und eines Secundenpendels bediente, jedoch verfiel er in den nämlichen Fehler als sein Vorgänger, indem er die Menge der Vibrationen dieser Pfeife

---

fundenen doppelte gewesen seyn muſsten. Mém. de l'Acad. 1713. p. 824.

1 Nov. Act. Petrop. T. XIII. Hist. p. 81. Vergl. Voigt's Magaz. St. 1. S. 102.

Digitized by Google

gleichfalls zu 100 annahm und diesemnach für a̅ deren 436 bestimmte. Durch Sarti wurde die Sache hauptsächlich bekannt, jedoch wuſste man meistens nur im Allgemeinen, daſs Sauveur auf die Stöſse aufmerksam gemacht und den Ton von 100 Schwingungen als Normalton vorgeschlagen habe[1], ohne daſs man darauf Bedacht nahm, das von ihm angegebene Mittel weiter zu vervollkommnen. Selbst Chladni[2], in allen Zweigen der Akustik so vollständig, erwähnt die Erscheinung der Stöſse nur beiläufig, kennt jedoch dieselben so genau, daſs er die gefundenen Stöſse doppelt nennt, also ihre Zahl von 100 auf 200 vermehrt, ohne den Grund hiervon anzugeben oder das oben nachgewiesene öftere Vorkommen derselben näher zu bezeichnen. W. Weber, mit allen akustischen Erscheinungen so innig vertraut, kannte nicht bloſs die Stöſse, sondern benutzte dieselben auch sehr sinnreich zu der von ihm vorgeschlagenen Compensation der Orgelpfeifen[3] und zur Ausmittelung der specifischen Wärme einiger Metalle[4]. Es heiſst nämlich: „Die Schwingungen zweier neben einan„der tönender Körper, bei denen nur ein geringer Unter„schied ihrer Tonhöhe statt findet, machen von Zeit zu Zeit „auf das Ohr einen stärkern Eindruck, so oft die Maxima ih„rer Schwingungen zusammenfallen, und diese stärkeren Ein„drücke auf unser Ohr nennen wir *Schwebungen.*“ Daſs Weber jedoch dieses Mittel nicht zur Auffindung der absoluten Schwingungsmengen der Töne nach irgend einer festen Stimmung benutzt habe, geht aus seiner Angabe hervor, wonach „der Ton a̅, wie gewöhnlich die Stimmgabeln des Forte„Piano, 864 Schwingungen“ haben soll, welches für c̅ deren 518,4 giebt, also 18 mehr als nach Dülong und 6 mehr als nach Chladni. Woher diese Bestimmung entnommen sey, vermag ich für jetzt nicht aufzufinden.

---

1 Vergl. Th. Young Lect. on Nat. Phil. II. 607.

2 Akustik S. 87. wird der Vorschlag Sauveur's, den Ton einer F. langen pariser Orgelpfeife als Norm anzunehmen, beiläufig erähnt; später §. 188. wird bei Gelegenheit des Mitklingens bloſs arti genannt, ohne Angabe und Erläuterung des Kunstausdrucks. seinem Traité d'Acoustique sind zwar die Battements ausdrückch genannt, aber ohne Andeutung irgend einer Bedeutsamkeit der iche.

3 Poggendorff's Ann. XVI. 397., zunächst 399.

4 Ebend. XX. 177.

Digitized by Google

49) Der erste, welcher seit Sauveur und Sarti in der neueſten Zeit die Zahlen der Stöſse (*Schläge*) zur Auffindung der abſoluten Schwingungsmengen der Töne benutzt hat, ist Hällström[1]. Um seine veränderte Theorie der Combinationstöne durch die Erfahrung zu prüfen, bediente er sich der Orgelpfeifen, und weil die Töne, deren Stöſse man untersuchen will, einander nahe liegen müſsen, so war er genöthigt, bloſs die tiefſte Octave von $\underline{C}$ bis C in der Art zu benutzen, daſs er die Zahl der Stöſse zwischen den einander nächsten Intervallen $\underline{C}$ und $\underline{C\sharp}$, $\underline{D}$ und $\underline{D\sharp}$, $\underline{E}$ und $\underline{F}$, $\underline{F\sharp}$ und $\underline{G}$, $\underline{G\sharp}$ und $\underline{A}$, $\underline{B}$ und $\underline{H}$, $\underline{H}$ und C jedesmal im Mittel aus 10 Versuchen bestimmte. Nimmt man mit Chladni für $\underline{\underline{C}}$ 32 Schwingungen an, so giebt $\underline{C}$ deren 64. Ein Versuch mit Chladni's oben beschriebenem Tonometer gab deren 70, was ihm jedoch mit Recht nicht hinlänglich genau zu seyn schien. Zur Auffindung dieser Gröſse aus der Zählung der Stöſse führt dann folgende Betrachtung. Die Zahl der Stöſse, welche zwei zugleich angeſtimmte Töne geben, ist dem Unterschiede ihrer Oscillationsmengen gleich und diesemnach die Summe aller Stöſse in der ganzen Octave von $\underline{C}$ bis C dem Unterschiede der Schwingungsmengen C — $\underline{C}$, wenn anders diese beiden Töne richtig geſtimmt sind, was sich unter allen diesen tiefen Tönen für diese am leichteſten erreichen läſst, und hieraus geht hervor, daſs C — $\underline{C} = \frac{1}{2}$ C $= \underline{C}$, gleich der Summe der zur Erzeugung von $\underline{C}$ erforderlichen Schwingungen, ist. Die Genauigkeit der Versuche geht aus der geringen Abweichung der einzelnen Gröſsen vom Mittelwerthe genügend hervor, und so kann alſo das gefundene Reſultat, nämlich $\underline{C} = 67{,}2$, als ein der Wahrheit sehr nahe kommendes gelten. Hiernach gehörten für c = 268,8, für $\bar{c}$ = 537,6 Schwingungen und nach dem gemeinhin angenommenen Verhältniſse kämen auf $\bar{a}$ = 896 Vibrationen, mithin bedeutend mehr als Weber, Chladni und Dulong gefunden haben. Hällström findet dieses übereinstimmend mit der Aeuſserung der Muſiker, daſs die Stim-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 438. Biot Traité T. II. p. 144 f. handelt ausführlich von diesen Stöſsen und giebt auch ein Mittel an, die Stöſse zweier Pfeifen, die um eine genau gemessene Gröſse verlängert oder verkürzt werden können, zu zählen, allein Versuche hat er nicht angeſtellt und daher nur ein theoretisch gefundenes Reſultat mitgetheilt.

Digitized by Google

mung der Orgeln sehr hoch sey; allein die von mir in verschiedenen Gegenden Deutschlands geprüften und verglichenen hatten vielmehr eine bedeutend tiefere Stimmung, als die Orchester-Instrumente, weil jene die ältere ist, die Stimmung der letzteren aber wegen des bessern Klanges der Bogeninstrumente in der neuern Zeit merklich höher getrieben wurde.

49^b) Die so eben mitgetheilten Resultate sind ausnehmend schätzbar, wenn gleich die unerwartete Höhe der Töne etwas Auffallendes hat, sie lassen aber die eigentliche Aufgabe insofern noch in einigem Dunkel, als die Stimmung der gebrauchten Orgel nicht mit derjenigen bekannter Orchester verglichen wurde. Zur Anstellung einer solchen Vergleichung würde aber erforderlich seyn, nach dem bestimmten $\underline{A}$ zunächst A, hiernach a und dann erst $\bar{a}$ rein zu stimmen, weil dieses eingestrichene $\bar{a}$ der gebräuchliche Normalton für die Orchesterstimmungen ist, eine Aufgabe, die groſse Schwierigkeiten darbietet, wenn man sich dabei auf das bloſse Gehör verlassen muſs, da ohnehin die Töne der Orgelpfeifen nicht so scharf sind, um geringe Abweichungen ihrer Stimmung mit so groſser Genauigkeit wahrzunehmen, als eine definitive Entscheidung über die ihnen zugehörigen Schwingungsmengen wünschen läſst, nicht zu rechnen, daſs die durch W. Weber[1] bemerkte Verschiedenheit der Tonhöhe, die bei der nämlichen Pfeife in Folge des ungleichen Anblasens statt findet, allezeit einige Ungewiſsheit erzeugen muſs[2]. Der letztere Umstand kommt zugleich rücksichtlich dieser Versuche im Allgemeinen in Betrachtung, bei denen auſserdem der Nachtheil Berücksichtigung verdient, daſs sie mit den tiefsten Tönen angestellt wurden und nicht füglich mit andern gemacht werden konnten, deren Stimmung jedoch vom Ohre keineswegs mit so groſser Genauigkeit wahrnehmbar ist, als die der mittlern Töne, ein Einwurf, welchen namentlich Dülong bei mündlicher

---

1 Poggendorff's Ann. XVI. 397.

2 Daſs das Ohr selbst der geübtesten Musiker die Reinheit eines Tones nicht weiter, als bis höchstens 0,02 der gesammten Vibrationsmengen zu unterscheiden vermöge, ist unbestreitbare Thatsache, deren Richtigkeit aus vielen der nachfolgenden Betrachtungen mit Sicherheit hervorgeht. Das Reinstimmen in absoluter Schärfe ist ungleich schwerer, als man gewöhnlich glaubt. Vergl. §. 52. Anm.

Digitized by Google

Unterhaltung über dieses Problem gegen die Anwendung dieser Methode im Allgemeinen geltend machte. Alle diese Schwierigkeiten hat Scheibler glücklich vermieden und ist daher zu einem Resultate gelangt, wonach die Frage über die absoluten Mengen der Vibrationen, die den Tönen unserer gebräuchlichen Instrumente zugehören, keinem weitern Zweifel mehr unterliegt.

50) Heinrich Scheibler[1], Seidenmanufacturist zu Crefeld, leidenschaftlicher Liebhaber der Musik, wurde durch das Bestreben, völlig reingestimmte Instrumente zu erhalten, durch Jahre lang fortgesetzte Versuche dahingebracht, die Stöſse zur Erreichung seines Zweckes auf eine Art anzuwenden, die nichts weiter zu wünschen übrig läſst, und es verlohnt sich daher allerdings der Mühe, die Hauptsache seiner Verfahrungsweise und der dadurch erhaltenen Resultate mitzutheilen. Ein groſser Vorzug dieser Experimente vor allen frühern dieser Art beruht auf dem Gebrauche der Stimmgabeln, die in gehöriger Vollkommenheit verfertigt unter allen Instrumenten den am schärfsten aufzufassenden und am leichtesten zu bestimmenden Ton geben und auf welche bloſs die ungleiche Temperatur einen bisher für unbedeutend gehaltenen, hier jedoch allerdings berücksichtigten Einfluſs ausübt. Die gebrauchten
Fig. 148. Stimmgabeln wurden von englischem Guſsstahl (*Huntsmans-Steel*) ohne Härtung verfertigt, beide Schenkel möglichst gleichmäſsig an Stärke und Gestalt, unten mit einem nicht zu dünnen, oberflächlich zur Schraube geschnittenen Stiele c, welcher vor dem Abstimmen mit dem hölzernen Heſte b versehn wird, damit die Wärme der berührenden Hand und etwa durch das Anfassen erzeugter Rost der genauen Stimmung nicht schaden möge. Das untere dünnere Ende des Stieles d ist zu einer accuraten Schraube geschnitten, um in einen höl-
Fig. 149. zernen Träger AB eingeschraubt zu werden, in dessen oberes Ende ein Stück Messing zum Einschneiden der weiblichen Schraube eingekittet wird, das untere Ende aber dient dazu, um in einen Resonanzboden oder einen geeigneten Klotz in dazu paſsliche Löcher fest eingesteckt zu werden. Solcher

1 Der physikalische und musikalische Tonmesser. Essen 1834. S. Eine vorläufige Anzeige der Hauptsache findet sich in Poggendorff's Ann. 1833. St. 11. XXIX. 390.

Digitized by Google

hölzerner Träger bedarf man zwei oder mehrere, um jederzeit diejenigen Gabeln hineinzuschrauben, wovon man Gebrauch machen will. Um sie zum Tönen zu bringen, werden sie mit einem Wulste aus wollenem Garn geschlagen, welcher an einem etwa 18 Zoll langen fischbeinernen Stäbchen durch Umwickeln und Durchnähen befestigt ist, und jede Gabel ist verwerflich, deren Ton nicht 30 Secunden vernehmlich anhält, bei den besten dauert er 80 Secunden. Für genaue Versuche ist erforderlich, daſs sie in einem nicht geheizten Zimmer von 15 bis 18° R. mittlerer Temperatur angestellt werden, auch darf man die nämlichen Gabeln nicht zweimal an einem Tage zur Anwendung bringen, weil sie die geringen, für so feine Messungen aber noch merklichen Temperaturerhöhungen, die sie durch die Berührung des Experimentators unvermeidlich annehmen, in langer Zeit nicht verlieren. Solcher genau abgestimmter Gabeln verfertigte Scheibler 52 für die Intervalle von a bis ā, die auf eine eigenthümliche Weise nach seinem Metronome so eingerichtet waren, daſs die Zahl der Stöſse aller zwischen diesen Grenzen durch die verschiedenen Intervalle erzeugten Töne genau gemessen werden konnte, aus deren Summe dann nach dem oben §. 49. angegebenen Gesetze die absolute Menge der Schwingungen von a und ¯ hervorging.

Das *Metronom* ist bereits oben[1] beschrieben und nach dem dabei zum Grunde liegenden Principe erläutert worden. Dasjenige, dessen sich Scheibler bediente, besteht aus einem bloſsen Pendel, welches auf feinen stählernen Messerschneiden schwingend an einem Stative ohne einschlieſsenden Kasten aufgehangen ist und, da ihm die Compensation fehlt, wegen Aenderung der Temperatur jederzeit für die Versuche regulirt werden muſs, wozu die Coincidenzen seiner Schwingungen mit denen des Pendels einer Uhr benutzt werden, die im ganzen Jahre keine 5 Minuten abweicht, welches für völlig genaue Coincidenzen beider Pendel die ganze Minute nicht

1 Bd. VII. S. 399. Ein seitdem bekannt gewordenes Metronom von Bienaimé zu Amiens ist eine sinnreich construirte Uhr, um die verschiedenen Tacte anzugeben. S. Bulletin de la Soc. d'Encouragement Nov. 1831. p. 475. Daraus in Dingler's Journ. Th. XLIV. S. 111.

Digitized by Google

völlig um 0,00001 ungewiſs macht und daher für die Zahl der Schallvibrationen einen verschwindenden Fehler läſst. Das Pendel, aus einer Kupferstange bestehend, theilt die Minute in 50 bis 90 Theile und die auf der Stange gravirten Zahlen geben an, welche Abtheilung gerade statt findet. Ist dasselbe daher, wie bei den meisten Versuchen zu geschehn pflegt, auf 60 gestellt, so muſs es mit dem Secundenpendel der Uhr isochronisch schwingen. Zur genauen Regulirung dient die Mikrometerschraube b, wodurch die Linse höher oder tiefer gestellt wird, welches Verfahren der kleine Zeiger d erleichtert. Das obere Gewicht e wird nicht, wie gewöhnlich, verschoben, sondern vermittelst einer Mikrometerschraube f höher und tiefer gestellt, deren Umdrehungen durch einen Zeiger auf der getheilten Scheibe k gezählt werden, indem der Stift h bei jeder ganzen Umdrehung die Feder i klingen macht. Jede Vermehrung der Schwingungen um eine Einheit ist auf der Stange durch einen Strich bezeichnet, man kann hiernach also das Pendel auf 60, 61, 62 u. s. w. Schwingungen in einer Minute stellen, jede dieser Abtheilungen aber wird durch die Mikrometerschraube f vermittelst der getheilten Scheibe k wieder in 10 Theile getheilt, wodurch also Zehntel jeder einzelnen Schwingung gegeben sind, die dazu dienen, die geringsten Abweichungen der gemessenen Mengen von Stöſsen auf die kleinsten Zeittheilchen zurückzuführen und dadurch die Unterschiede der Schwingungszahlen eines gegebenen Tones und des normalen bis auf Tausendstel einer einzigen Vibration zu finden. Nach diesem Metronom wurde eine Reihe von Stimmgabeln so abgestimmt, daſs diese, die zum Unterschiede Scalengabeln heiſsen, zu je zwei mit einander verglichen, bei der Stellung des Pendels auf 60 jederzeit 4 Stöſse auf jede Schwingung gaben. Einige ohne groſse Sorgfalt, ja man darf sagen nur im Rohen, von mir gemeinschaftlich mit dem Erfinder bloſs auf meinem Zimmer mit den beschriebenen Apparaten angestellte Versuche haben mich von der unerwarteten Genauigkeit und Schärfe dieser Methode überzeugt, indem eine Berechnung ergab, daſs die Summe aller gröſstmöglich angenommenen Fehler keine gröſsere Ungewiſsheit als von 0,13 einer Vibration zurücklieſs, wonach man bei genügender Sorgfalt die Fehlergrenze auf nicht mehr als höchstens 0,01 einer Vibration setzen darf. Zwischen den Scalen-

Fig. 150.

gabeln wurden andere eingeschoben, die Mengen der Stöſse, die sie mit einander machten, gezählt, und auf diese Weise durch eine Menge Versuchsreihen, deren Mittheilung im Einzelnen hier zu weitläuftig seyn würde, folgende Mittelwerthe für den Ton ā erhalten:

1) 12 Versuchsreihen von a bis ā gaben	878,6666 ...
2) Die Stöſse von a bis c̄♯	— 878,4470
3) Die gleichschwebenden Quinten a, ē u. c̄♯, ḡ♯	— 879,2200
4) Von a bis ē	— 878,5200
5) Von gleichschw. c̄♯ bis d̄	— 878,5723
6) Von gleichschw. d̄ bis ē	— 878,3520

Im Mittel aus allen Versuchen kommen demnach auf das von Scheibler gebrauchte ā 878,62965... oder in runder Zahl 878,63 Schwingungen, wofür man bei dem Uebergewichte der ersten, durch das Tonverhältniſs nicht afficirten Messung 878,67 setzen muſs.

Mit dieser genau bestimmten Gröſse wurden die Stimmungen der bekanntesten Orchester vermittelst der Stöſse, welche die von dort her erhaltenen Stimmgabeln mit dem normalen ā gaben, verglichen. Hiernach hat dieser Ton zu Paris:

1) bei der *Opéra, académie de musique*	853,5
2) dieselbe, anderes Exemplar	867,5
Unterschied	14,0
3) *Conservatoire, des concerts et Italiens*	869,9
4) dieselbe, anderes Exemplar	881,4
Unterschied	11,5
5) dieselbe, älteres Exemplar	870,1.

Die Gabel Nr. 2. ist von Petitbout, *luthier de l'opéra*, und die Nr. 3. von Gand, *luthier du conservatoire de musique* (*Rue croix des petits champs*), beide sind zuverlässige, eigends für diese Vergleichung bestellte Exemplare, die also die Pariser Orchesterstimmung im Mittel das ā = 868,7 Schwingungen in einer Secunde geben.

Vom Berliner Orchester wurde nur eine einzige, für zuverlässig geltende Gabel verglichen, die 883,25 Vibrationen gab, woraus also folgt, daſs dort eine sehr hohe Stimmung üblich ist. Vom Wiener Orchester wurden 6 Stimmgabeln verglichen.

Digitized by Google

Nr. 1.	hatte	867,33
— 2.	—	872,67
— 3.	—	878,30
— 4.	—	880,20
— 5.	—	881,74
— 6.	—	889,74

Die Uebereinstimmung dieser ohne Zweifel von verschiedenen Wiener Instrumenten entnommenen Stimmgabeln zeigt die Genauigkeit und Schärfe der dort üblichen Stimmung. Als die richtigste Gabel darf die Nr. 5. betrachtet werden, die vom Professor Blahetka mit dem Bemerken herrührt, daſs sie die ächte Wiener Stimmung angebe.

Zur leichtern Uebersicht wird es nützlich seyn, die hier über die absoluten Schwingungsmengen der Töne erhaltenen verschiedenen Bestimmungen zusammenzustellen.

1) Nach L. Euler's Versuchen mit einer gespannten Saite aus der Berechnung der Länge, Dicke und spannenden Kraft hat das eingestrichene a (ā) in 1 Sec. 784 Schwingungen.

2) Nach Chladni als bequemes Mittel aus früheren Versuchen und aus dem Tone einer Pfeife von gegebener Länge hat ā 853,34 Schwingungen.

3) Nach demselben aus den Schwingungen des achten Theils eines Stabes, welcher in 1 Secunde 4 Schwingungen macht, hat ā 853,34 Schwingungen.

4) Nach Dülong nach seinen Messungen einer bei 22° C. schwingenden Luftsäule, deren Vibrationen vermittelst der Sirene gezählt wurden, hat ā 834 Schwingungen.

5) Nach Sauveur und Sarti in Folge ihrer Messungen der Stöſse bei Orgelpfeifen hat ā 872 Schwingungen.

6) W. Weber giebt ohne Erwähnung der Versuche, worauf sich diese Bestimmung gründet, für ā 864 Schwingungen an.

7) Hällström fand vermittelst der Stöſse aus den Tönen der tiefsten Orgelpfeifen für ā 896 Schwingungen.

8) Scheibler erhielt bei seinen Versuchen mit einem von Chladni angegebenen Tonometer, auf die nämliche Art als letzterer selbst nach der unter Nr. 3. mitgetheilten Angabe, für ā 870 Vibrationen.

9) Scheibler's Stimmgabeln, die auf übliche mittler

Stimmung abgerichtet waren, zunächst aber, der Versuche wegen, nur unter sich im gehörigen Verhältnisse seyn muſsten, gaben in Folge der Summe aller zwischen a und ā gezählten Stöſse für den letztern Ton im Mittel 878,67 oder $878\frac{2}{3}$ Schwingungen.

10) Die Stimmgabeln des Conservatoriums zu Paris geben im Mittel für ā 868,7 Schwingungen.

11) Die Berliner Orchesterstimmung ist vermuthlich so, daſs zu ā 883,25 Schwingungen gehören.

12) Die Wiener Orchesterstimmung wird am richtigsten so angenommen, daſs ā 881,74 Schwingungen hat.

Bei diesen Bestimmungen ist in denjenigen Fällen, wo nicht ā unmittelbar gemessen wurde, also bei den Nummern 1 bis 5, das Verhältniſs von c̄ zu ā = 3 : 5 angenommen, was zwar im Allgemeinen richtig ist, dennoch eine geringe Aenderung geben würde, wenn man es etwas verschieden annehmen wollte.

51) Die so eben beschriebenen Stöſse sind leicht wahrnehmbar, wenn man sie auf die angegebene Weise künstlich hervorbringt, und nicht zu verkennen, wenn sie unerwartet zum Vorschein kommen. Bei weitem weniger ist dieses der Fall mit zwei verwandten Erscheinungen, wovon die eine, die der sogenannten *Combinationstöne*, so vollständig auf der nämlichen Ursache beruht, daſs meistens von beiden zugleich gehandelt wird[1]. Um die Sache hier zuerst im Allgemeinen deutlich zu machen, möge die Entstehung der Stöſse als bekannt vorausgesetzt werden. Sind bei diesen die Anschwellungen, die Maxima ihrer Intensitäten stark, so geben sie bei ihrer regelmäſsigen Reihenfolge unleugbar solche Pulsus, die nach der oben im Anfange dieses Artikels angenommenen Theorie einen Ton erzeugen müssen, sobald sie nur zahlreich genug in einer gegebenen Zeit erfolgen. Ist es gegründet, daſs 32 Vibrationen in einer Secunde den tiefsten wahrnehmbaren Ton geben[2], so darf ihre Zahl nicht geringer seyn, wenn ein durch sie erzeugter Ton zum Vorschein kommen

1 Daſs diese Töne nach Purkinje bloſs subjectiv seyn sollen, s. Kastner Archiv. 1826. I. 39., ist weder mit der Theorie noch der Erfahrung vereinbar.

2 Das Nähere hierüber in §. 98.

soll, mithin wird man in den meisten Fällen, wenn etwa 10, 8, 4, 2, 1 oder noch weniger Stöſse in 1 Sec. erfolgen, nur diese, aber keinen durch sie erzeugten Ton hören; dagegen ergiebt eine kurze Uebersicht der bisherigen Untersuchungen, daſs sie sich allerdings häufig zeigen müssen. Wenn aber diese allgemeine Betrachtung zu dem Resultate zu führen scheint, als sey die ganze Theorie derselben höchst einfach, so ergiebt sich aus den bisher bekannt gewordenen Untersuchungen derselben, daſs dieses keineswegs der Fall ist, und da insbesondere die Erfahrung nicht allezeit mit der Theorie vollkommen übereinstimmt, auſserdem die Wahrnehmung der Combinationstöne vielen Schwierigkeiten unterliegt, so will ich versuchen, die Sache nach meiner Ansicht möglichst deutlich zu machen, muſs aber zur weitern Untersuchung auf die angegebenen Quellen verweisen.

Der erste, von dem man weiſs, daſs er die Combinationstöne beachtet und davon, jedoch nur im Allgemeinen, geredet hat, ist Georg Andreas Sorge[1], welcher jedoch diese und die sogenannten Nebentöne keineswegs genugsam von einander unterscheidet. Was Romieu[2] in der Akademie der Wissenschaften zu Montpellier darüber sagte, wurde wenig beachtet, desto mehr dasjenige, was Tartini[3] bekannt machte, wonach man sie später mit dem Namen der *Tartini'schen Töne* bezeichnete. Die Theorie derselben wurde zuerst gründlich entwickelt durch La Grange[4], und ausführlich handelte darüber Matthew Young[5], von dem sie *grave harmonic tones* genannt wurden. Im Anfange dieses Jahrhunders kam das Problem sowohl in England als auch in Deutschland zur lebhaften Discussion. Veranlassung dazu gab eine gehaltreiche Abhandlung von Thomas Young[6] über Schall und Licht.

---

1 Anweisung zur Stimmung der Orgelwerke und des Claviers u. s. w. Hamb. 1744. S. 40. Dessen Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. Cap. 5.

2 Chladni Akustik S. 208.

3 Trattato di Musica secondo la vera Scienza dell' Armonia. Padova 1754.

4 Recherches sur le Son; in Miscell. Taurin. T. I. §. 64.

5 Enquiry into the principal phaenomena of sounds and musical strings. Dubl. 1784. 8.

6 Philos. Trans. 1801. Vergl. dessen Lectures. T. II. p. 60.

Digitized by Google

worin er das Werk des Dr. Smith[1] wegen der Undeutlichkeit der Darstellung tadelte und sich hierüber eine Rüge des Prof. Robison[2] zuzog, wogegen er sich vertheidigte und dabei bemerkte, daſs die Stöſse bereits durch Sauveur entdeckt worden seyen und also nicht als eine bedeutende Erfindung des Dr. Smith gelten könnten. Als ein neuer Vertheidiger des letztern und Gegner des durch Th. Young aufgestellten Zusammentreffens (*Coalescenz*) zweier Töne trat Gough[3] auf, und veranlaſste hierdurch eine Reihe von Streitschriften[4], worin er seine Theorie der zusammengesetzten Töne (*compound sounds*) vertheidigte. Die ganze Reihe dieser Abhandlungen machte Vieth[5] in Deutschland bekannt, wo man durch Chladni's gründliche Untersuchungen bereits mit dem Wesen der Sache vertraut war. Auffallend war der Vorschlag Vogler's[6], die kostbaren und unbequemen groſsen Orgelpfeifen dadurch entbehrlich zu machen, daſs man ihre Töne durch die Combination von zwei hohen erzeugte, wogegen sich jedoch der Recensent dieses Werkes[7], Chladni, Vieth u. a. erklärten, die Idee ist nie wirklich ausgeführt worden und kann auch nach dem, was bis jetzt über die Combinationstöne aus der Erfahrung bekannt ist, nie ausgeführt werden. Daſs sie nicht zu den subjectiven Erscheinungen gehören, wie Purkinje[8] annimmt, geht aus dem Gesagten genügend hervor.

Vieth scheint mir in denjenigen Bemerkungen, die er den Aufsätzen der englischen Physiker hinzufügt, die Sache ihrem Wesen nach sehr deutlich gemacht und namentlich in Beziehung auf das Praktische alles gesagt zu haben, was darüber zu wissen wichtig ist. Zuvörderst bemerkt er, daſs manche die Existenz der Combinationstöne überhaupt leugnen. Obgleich dieses durchaus irrig ist, so läſst sich doch auf der andern Seite nicht in Abrede stellen, daſs gewiſs nur wenige sie jemals gehört haben, wenn sie nicht ausdrücklich darauf ach-

---

1 Dr. Smith Harmonics. Cambr. 1759. 8.
2 Encyclop. Brit. Suppl. Art. Temperament. p. 652.
3 Manchester Memoirs. T. V. P. II. p. 653.
4 In Nicholson's Journ. of Nat. Phil. von 1802 und 1803.
5 G. XXI. 265.
6 Handbuch der Harmonielehre. Prag 1802. 8.
7 Allgem. deutsche Biblioth. LXXXIII. S.419.
8 Kastner's Archiv 1826. Hft. 1. S. 39.

Digitized by Google

teten. Allerdings heiſst es mit Recht, daſs diejenigen ein stumpfes Gehör haben müssen, die sie gar nicht wahrnehmen können, allein ohne besondere Beachtung sind sie so schwach, daſs sie neben den stärkern sie erzeugenden Tönen allzusehr verschwinden. Ihre Menge ist sehr groſs und ich führe daher nur diejenigen an, die von Vieth namhaft gemacht worden sind und die ich sämmtlich mit Erfolg hervorgebracht habe. Auf einem Forte-Piano bemüht man sich vergebens, sie zu erzeugen, bloſs Bogeninstrumente und Pfeifen geben dieselben, auch soll man die tiefern Orgelpfeifen nicht zu ihrer Erzeugung anwenden, worüber ich aus Erfahrung nicht urtheilen kann, auſser daſs Dülong zwei tiefere Pfeifen, deren Töne einander sehr nahe lagen, gleichzeitig tönen lieſs, um mir die Undeutlichkeit beim Zählen der Stöſse zu zeigen, wodurch ein unkenntliches, widerliches Getöse entstand. Mit Sicherheit vernimmt sie jedes nicht eigentlich stumpfe Gehör, wenn sie auf einer Geige durch starkes und etwas anhaltendes Streichen von zwei Saiten gebildet werden und man sie selbst hervorbringt oder das Ohr etwas nahe über die Saiten hält. Der am leichtesten entstehende Combinationston wird nach Vieth erhalten, wenn man die $\bar{d}$ Saite einer Geige in $\bar{e}$ stimmt und diese zugleich mit der $\bar{a}$ Saite anhaltend und gleichmäſsig streicht, wobei das tiefe A zum Vorschein kommt. Hat hierbei in Gemäſsheit der obigen Angabe §. 50. das $\bar{a}$ 880 Schwingungen, so hat $\bar{e}$ deren $0{,}75 \times 880 = 660$, und da $3 \times 220 = 660$ und $4 \times 220 = 880$ ist, so erfolgen durch beide Töne 220 Stöſse in 1 Secunde, die zu $A = \frac{880}{4}$ gehören, wenn aber erst nach 2 Coincidenzen der Schwingungen ein Stoſs erfolgt, so können nur 110 solche Stöſse statt finden, die also $\underline{A}$ geben müſsten. Auf gleiche Weise erhält man mit $\bar{\bar{c}}$ und $\bar{\bar{e}}$ das c, aus $\bar{\bar{h}}$ und $\bar{\bar{d}}$ das g u. s. w. Die eigentliche Tiefe des erzeugten Combinationstones ist selbst für ein geübtes Ohr etwas schwer zu bestimmen, und wollte jemand die Versuche hierüber weiter fortsetzen, so würde rathsam seyn, sich eine nach der durch Scheibler angewandten Methode genau gestimmte Stimmgabel zu verschaffen, hiernach die Geige völlig rein zu stimmen und dann durch unmittelbare Vergleichung mit einem andern Instrumente den Combinationston mit Sicherheit auszu-

Digitized by Google

mitteln, um über die Zahl der ihn erzeugenden Stöſse unzweifelhaft zu entscheiden.

52) Man pflegt meistens das Problem der Combinationstöne ganz so einfach aufzufassen, wie es hier dargestellt ist, mindestens geschah dieses durch Chladni, welcher selbst ein Schema zur Versinnlichung des Zusammentreffens der Schwingungen bei zwei Tönen mittheilt, die im Verhältniſs von 4:5 zu einander stehn, wobei es also nur darauf ankommt, Fig. 151. ob die Coincidenzen *a*, *a*, *a*.... zahlreich genug in einer Secunde erfolgen, um einen Ton zu geben, und ob sie kräftig genug sind, damit der durch sie gebildete Ton neben den beiden erzeugenden Tönen noch gehört werden könne, wobei sich von selbst versteht, daſs die Stöſse dann aufhören wahrnehmbar zu seyn, wenn ein Combinationston entsteht, denn man nimmt an, daſs ein Ton mindestens 32 Vibrationen in 1 Sec. erfordere, mehr als 10 Stöſse in einer gleichen Zeit sind aber nicht für sich unterscheidbar. Neuerdings hat der Baron Blein[1] eine Reihe von Combinationstönen bekannt gemacht, welche durch Versuche von ihm erhalten wurden und die sich nicht auf ein so einfaches Schema zurückbringen lassen. Der eine erzeugende Ton war bei allen c, dessen Schwingungsmengen = 256 in 1 Sec. angenommen und hiernach dann die des zweiten erzeugenden Tones und die aus beiden folgenden Coincidenzen als Ursache des Combinationstones berechnet werden; allein aus den vorhergehenden Untersuchungen folgt, daſs bei der Unsicherheit der Stimmung und der Unmöglichkeit, diese bis zur genauesten Schärfe durch das bloſse Gehör zu unterscheiden (wie aus der oben nachgewiesenen Verschiedenheit der Stimmgabeln bei den nämlichen Orchestern nach Scheibler evident hervorgeht), diese Bestimmung überall nicht als sicher gelten kann, durch welchen Einwurf jedoch alle hierauf gebauete Folgerungen als schwankend erscheinen müssen. Es scheint mir daher nicht zweckgemäſs zu seyn, auf eine nähere Prüfung der zwei zugleich gehörten Combinationstöne, die Blein angiebt, näher einzu-

1 Exposé de quelques principes nouveaux sur l'acoustique et la théorie des vibrations, et sur l'application à plusieurs phénomènes de physique. Par le Baron Blein. Par. 1827.

Digitized by Google

gehn. W. Weber[1] erweitert die oben angegebene Theorie insofern, als er sagt, daſs das einfache Verhältniſs der Schwingungsmengen auch nur ein genähertes seyn und z. B. zwischen 5:6 und 4:5 liegen könne, in welchem Falle man bald den einen, bald den andern Combinationston hören müsse. Es lasse sich dann das einfache Verhältniſs, z. B. a:b, durch einen Kettenbruch, nämlich

$$\frac{a}{b}=\cfrac{1}{\alpha+\cfrac{1}{\beta+\cfrac{1}{\gamma+\ldots}}}$$

ausdrücken und werde demnach das Verhältniſs a:b so wenig von $\frac{\beta}{\alpha\beta+1}$, $\frac{\beta\gamma}{\alpha\beta\gamma+\alpha+\gamma}$ abweichen, daſs in der zu so viel Stöſsen erforderlichen Zeit keine störende Abweichung sich zeige und ein Tartini'scher Ton auf gleiche Weise entstehe, als wenn das wahre Verhältniſs wirklich statt finde, jedoch ein schwacher.

Daſs es solche genäherte Verhältnisse gebe, die man bequem durch Kettenbrüche ausdrücken könne, folgt unmittelbar aus den Schwingungsgesetzen und bedarf wegen der Klarheit der Sache an sich keiner weitern Erläuterung, sofern aber eine Anwendung davon auf die Combinationstöne gemacht wird, ist wohl zu berücksichtigen, daſs diese ein anhaltendes genaues Zusammentreffen der Vibrationen nothwendig erfordern. Denn wäre ein solcher für das genaue Verhältniſs von a:b berechnet, und statt dessen das genäherte von a:b(1,001) vorhanden, so würden nach 500 Combinationen die Schwingungen des einen Tones genau zwischen die des andern fallen und keine weitere Erzeugung des Combinationstones möglich seyn. Hierin liegt die Ursache davon, daſs zu ihrer Erzeugung eine Art von Probiren unentbehrlich ist, indem man durch geringes Verrücken des Fingers auf der Saite und durch verändertes Streichen dahin zu gelangen suchen muſs, daſs das erforderliche Verhältniſs genau hergestellt werde. So leicht es übrigens ist, die Menge der Vibrationen eines Tones geometrisch genau anzugeben und hiernach sowohl die Tonverhältnisse als auch die Combinationen theoretisch zu bestimmen

1 Poggendorff's Ann. XV. 216. Hierdurch kenne ich die angegebene Schrift.

ebenso schwer ist es, diese Zahlen in der Wirklichkeit zu erhalten, indem mitunter momentan eintretende Nebenbedingungen, die aus der Temperatur, aus der Art des Anblasens oder Streichens, den eigenthümlichen Vibrationen des Körpers des Instruments, dem Einflusse des Mittönens u. s. w. hervorgehn, den Ton an sich zwar nicht auf eine durch das bloſse Gehör wahrnehmbare Weise verändern, wohl aber so modificiren können, daſs die mathematisch abgeleiteten Folgerungen nicht weiter statt finden.

52) Die neuesten Erweiterungen hat das vorliegende Problem durch Hällström[1] erhalten, welcher gegen die bisher allgemein, unter andern auch von Brewster[2], angenommene Theorie einige gegründete Einwürfe vorbringt. Dahin gehört hauptsächlich die Erfahrung, daſs, wenn zwei gleichklingende Töne stufenweise stets mehr auseinander weichen, die Geschwindigkeit der Stöſse ohne einen Sprung ununterbrochen wächst, statt daſs sie abwechselnd schneller und langsamer erfolgen müſsten. Wären die Schwingungszahlen zweier Töne $=2r$ und $2r+1$, so könnte durch sie nur ein Stoſs in der Secunde entstehn, bei einer geringen Veränderung aber müſsten für $2r$ und $2r+2$, also bei einem gemeinschaftlichen Divisor, mindestens zwei statt finden, jedoch zeigt sich in der Erfahrung kein Sprung, sondern stets ein allmäliger Uebergang. Ferner müſste der Ton $\bar{a}$, wenn man diesen zu 880 Schwingungen annimmt, mit $\bar{c}$, dem hiernach 528 zukommen, nach dem Verhältniſs von 5 : 3 und der hiernach folgenden Regel $\frac{528}{3} = \frac{880}{5} = 176$ den dieser letztern Schwingungszahl zukommenden Ton F geben, wogegen aber dessen Octave f mit 352 Vibrationen gehört wird[3]. Hällström stellt daher folgende, durch Scheibler's

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 438.

2 Edinb. Encyclopaedia T. X. art. Harmonics. p. 641.

3 Es ist mir gleichfalls aufgefallen, daſs die Combinationstöne eicht höher sind, als sie der Theorie nach seyn sollen, der Unterchied beträgt jedoch meistens eine Octave, indem man statt $\underline{G}$, G, nd wie hier statt F, f hört. Was Hällström weiter über das chwankende in der Bestimmung des Verhältnisses 3 : 5 und eine statt ndende Willkür bei der Bestimmung desselben sagte, wird durch die erücksichtigung modificirt, daſs zwar dieses Verhältniſs der Theorie ach in absoluter Schärfe statt finden sollte, in der Wirklichkeit aber

Digitized by Google

genaue Versuche gleichfalls bestätigte Theorie auf. Sind r und s die Schwingungsmengen der combinirenden Töne und x die des Combinationstones, so müssen in der Zeit $= \frac{1}{x}$, die einer Schwingung des Combinationstones zugehört, zugleich $\frac{r}{x}$ und $\frac{s}{x}$ Vibrationen der combinirten Töne vollbracht werden. Es muſs ferner ein solches Verhältniſs zwischen ihnen statt finden, daſs für die Zeit $\frac{1}{x}$ der Werth $\frac{s}{x} = \frac{r}{x} + 1$ ist, oder die eine Schwingungsmenge die andere um eine Einheit übertrifft, woraus dann $x = s - r$ wird und also die Schwingungszahl des ersten Combinationstones gegeben ist, der dann wieder mit einem der erzeugenden ſtoſsen oder einen neuen Combinationston erzeugen kann u. s. w. Hieraus entsteht für die Zahl der Combinationstöne folgendes Schema:

ursprüngliche Töne	Combinationstöne	
r, s	s — r	erster
s — r, r	2r — s	zweiter
2r — s, s	2(s — r)	dritter
2r — s, s — r	3r — 2s	vierter
u. s. w.	u. s. w.	

woraus jedoch nicht folgt, daſs jederzeit alle diese Combinationstöne gehört werden, vielmehr nehmen die sie erzeugenden Schwingungen an Stärke stets mehr ab, meistens wird nur der erste, selten der zweite gehört, und zwei zugleich wahrzunehmen dürfte überall unmöglich seyn. Diese Theorie stimmt sehr genau mit der Erfahrung überein, wie daraus

---

durch das bloſse Gehör nicht so darstellbar ist, ohne daſs jedoch eine geringe Abweichung den aufgestellten Einwurf zu beseitigen vermöchte. Da hierüber also noch fortdauernd einige Dunkelheit herrscht, so wäre es nicht übel, die Aufgabe noch einmal und zwar mit rein gestimmten (§. 53.) Tönen, deren Schwingungszahlen also genau bekannt sind, zu untersuchen. Hierdurch würde eine Hauptschwierigkeit beseitigt. Eine andere liegt darin, daſs das Ohr jederzeit durch die beiden combinirten Töne und den Combinationston gleichzeitig afficirt wird, wovon die erstern noch obendrein weit stärker sind, als der letztere.

hervorgeht, daſs Hällström fast sämmtliche theoretisch bestimmte Combinationstöne dargestellt hat. Hierzu bediente er sich einer Geige und legte bei der Berechnung die Kirnberger'schen Tonverhältnisse zu Grunde, desgleichen die durch Chladni angenommene Bestimmung der absoluten Schwingungszahlen, nämlich für $\bar{c} = 512$, da diese Bestimmung gleichgültig ist, sobald es bloſs auf das Verhältniſs der combinirten Töne ankommt.

Digitized by Google

Nachfolgende Tabelle enthält eine Uebersicht der urſprünglichen und der daraus entſtandenen Combinationstöne.

Urſprüngl. Töne.	Combinationston.	Urſprüngl. Töne.	Combinationston.
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{d}}$	$\bar{e}$ = 640	$\bar{\bar{d}}$ $\bar{\bar{g}}$	g = 384 $\bar{g}$ = 768
$\bar{c}$ $\bar{d}$	a + = 429,3 +	$\bar{\bar{d}}\sharp$ $\bar{\bar{g}}\sharp$	g♯ = 404,6 $\bar{g}\sharp$ = 809
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{d}}\sharp$	$\bar{g}\sharp$ + = 809,1 +	$\bar{\bar{d}}\sharp$ $\bar{\bar{g}}$	d♯ + = 303,4 +
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{e}}$	$\bar{g}$ = 768 $\bar{c}$ = 512	$\bar{\bar{d}}$ $\bar{\bar{h}}$	$\bar{g}$ = 768 g = 384
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{f}}$	$\bar{f}$ = 682,7	$\bar{\bar{e}}$ $\bar{\bar{b}}$	$\bar{c}\sharp$ = 539,4
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{f}}\sharp$	$\bar{d}\sharp$ = 606,8	$\bar{\bar{e}}$ $\bar{\bar{\bar{c}}}$	$\bar{g}$ = 768 $\bar{c}$ = 512
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{g}}\sharp$	$\bar{d}\sharp$ = 606,8 −	$\bar{\bar{f}}\sharp$ $\bar{\bar{a}}$	d = 288 $\bar{a}$ + = 858,6 +
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{a}}$	$\bar{f}$ + = 682,7 +	$\bar{\bar{f}}\sharp$ $\bar{\bar{\bar{d}}}$	$\bar{a}$ = 858,6 $\bar{d}$ = 576
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{b}}$	$\bar{g}$ + = 768	$\bar{\bar{f}}\sharp$ $\bar{\bar{h}}$	h = 480 $\bar{h}$ = 960
$\bar{\bar{c}}$ $\bar{\bar{h}}$	$\bar{g}$ = 768	$\bar{g}\sharp$ $\bar{\bar{h}}$	$\bar{d}\sharp$ = 606,8
$\bar{\bar{h}}$ $\bar{\bar{d}}$	g = 384 $\bar{d}$ = 576	$\bar{h}$ $\bar{\bar{g}}$	$\bar{d}$ = 576 g = 384
$\bar{h}$ $\bar{\bar{\bar{d}}}$	g = 384 $\bar{d}$ = 576	$\bar{b}$ $\bar{\bar{g}}$	$\bar{d}\sharp$ + = 606,8 +
$\bar{h}$ $\bar{\bar{e}}$	$\bar{e}$ = 640		
$\bar{h}$ $\bar{\bar{\bar{e}}}$	$\bar{e}$ = 640 e = 320		
$\bar{\bar{c}}\sharp$ $\bar{\bar{e}}$	a + = 429,3 +		

Hierbei findet Hällström auffallend, daſs oft der erſte Combinationston nicht gehört wird, ſtatt deſſen aber der zweite und ſelbſt der dritte, vierte oder fünfte, was auf ihrer eigenthümlichen Höhe und der Empfänglichkeit des Ohrs

Digitized by Google

für diese, desgleichen auf ihrer Consonanz mit den erzeugenden Tönen beruht. Wenn endlich bei manchen Combinationstönen Bruchtheile von Schwingungen vorkommen, die sich bei jeder Wiederkehr summiren und dadurch eine Ungleichheit erzeugen müssen, so erklärt sich dieses leicht aus den nicht absolut genauen Schwingungszahlen, die irgend einem Tone zugehören, insofern man beim Stimmen bemerkt, wie schwer es hält, einen Ton absolut rein vermittelst des bloſsen Gehörs zu erhalten.

53) Es folgt aus dem Vorhergehenden von selbst, daſs man die Stöſse und deren Anzahl in einer Secunde insbesondere auch dazu benutzen könne, um Instrumente vollkommen rein zu stimmen. Ist nämlich das Verhältniſs, welches zwischen den Tönen statt finden soll, gegeben, so folgt hieraus die Zahl der Stöſse, die beide zusammen in 1 Sec. oder nach einem Metronom, welches für jedes Paar Töne eigends gestellt werden kann, geben müssen, und man darf daher den zu stimmenden Ton nur so lange richten, bis die erforderliche Zahl der Stöſse zum Vorschein kommt, wodurch er dann die richtige Stimmung bis auf weniger als 0,01 einer Schwingung innerhalb einer Secunde oder des durch das Metronom gegebenen Zeitintervalles erhalten wird. Da diese Aufgabe theoretisch so einfach ist, so verweile ich nicht länger dabei und verweise wegen der praktischen Anwendung auf die ausführliche Anleitung, die Scheibler darüber mitgetheilt hat [1].

---

1 Es scheint mir nicht unwichtig, hier beiläufig zu bemerken, daſs man jetzt durch den Mechanicus H. Kämmerling zu Crefeld Stimmgabeln erhalten kann, die den Ton $\bar{a}$ mit 880 Vibrationen genau geben, wodurch es also möglich wird, die bisherige Ungleichheit der Orchesterstimmungen zu beseitigen. Uebrigens habe ich mich durch Erfahrungen überzeugt, daſs ein im Stimmen sehr geübter Instrumentmacher nach einer solchen Gabel den Ton eines Forte-Piano völlig unison gestimmt zu haben glaubte, es ergab sich aber dennoch, aller Aufmerksamkeit ungeachtet, noch eine Differenz von einigen Vibrationen. Um daher rein zu stimmen, muſs man nicht die eigentliche Stimmgabel des zu stimmenden Tones, sondern eine solche anwenden, die mit diesem in einer bestimmten Zeit eine bekannte Menge von Stöſsen (4 in 1 Secunde) giebt. Wird dann der Ton so gestimmt, daſs er mit der Hülfsgabel genau die erforderliche Zahl von Stöſsen giebt, so ist er absolut rein, und es kostet nur geringe

Digitized by Google

54) Bei der Untersuchung der Combinationstöne kommen die ihnen verwandten *Nebentöne* um so mehr in Betrachtung, als es leicht geschehn könnte, daſs beide mit einander verwechselt und letztere für die erstern gehalten würden. Man bezeichnet mit diesem Namen alle diejenigen Töne, die oft neben dem eigentlichen Hauptone zum Ohre gelangen und sich durch die gröſsere Höhe kenntlich machen. Sie zeigen sich so häufig und sind aus wenigen Beispielen so kenntlich, daſs es nur einer kurzen Angabe derselben bedarf, und dieses um so mehr, als schon §. 11. von den *Flageolettönen* und der *Aeolusharfe* gehandelt worden ist, wobei ähnliche Erscheinungen und Gesetze in Betrachtung kommen. Auſserdem ist oben Abschn. C. erläutert worden, auf welche Weise durch erzeugte primäre Schallwellen ähnliche secundäre in andern benachbarten oder verbundenen Körpern erzeugt werden, die den eigenthümlichen Klang des hervorgebrachten Tones bedingen. Endlich ist bei der Untersuchung der longitudinalen Schwingungen elastischer Stäbe §. 17. und Scheiben §. 33. bereits nachgewiesen worden, daſs es auſser den die Erzeugung des Tones ganz eigentlich bedingenden Haupt- oder primären Schwingungen noch andere giebt, die zwar vorläufig bloſs als den Hauptton modificirend betrachtet wurden, aber auch leicht als selbst Töne erzeugend vorstellbar sind. Nimmt man alles dieses zusammen, so folgt, daſs neben dem Hauptone leicht Nebentöne entstehn können, sobald entweder die erzeugten Oscillationen andere Körper in Bewegung setzen, die vermöge der obwaltenden Bedingungen zu solchen Schwingungen geneigt sind, deren Zahlen zu denen der Hauptschwingungen in einfachen Verhältnissen, z. B. der Quinte, Octave, Doppelquinte, Doppeloctave u. s. w., stehn, oder wenn die tönenden Körper selbst durch den erhaltenen Impuls auſser den Hauptabtheilungen noch in Unterabtheilungen, die gleichfalls den genannten Tönen zugehören, getheilt und gleichzeitig in vernehmbare Schwingungen versetzt werden. Es ist also bloſs noch erforderlich, aus der Erfahrung nachzuweisen, daſs solche Nebentöne bei Schwingungen sowohl fester als auch expansibler Körper wirklich statt finden.

Schwierigkeiten, dieses zu bewerkstelligen. Für das gewöhnliche Stimmen ist diese Genauigkeit unnöthig. Vergl. §. 49. Anm.

Digitized by Google

Mit Uebergehung derjenigen Töne, die zum gemeiniglich sogenannten Mittönen gehören, wenn geeignete Körper durch den Einfluſs der Schallschwingungen eines Hauptttons in Vibrationen versetzt werden, die zu jenen in einfachen Verhältnissen stehn und häufig bis zu derjenigen Stärke wachsen, daſs man sie mit den Augen wahrnimmt und das Ohr die dadurch erzeugten Töne nicht selten deutlich hört, wie sich dieses häufig namentlich beim Forte-Piano zeigt, kann hier hauptsächlich nur von solchen Tönen die Rede seyn, die man weniger erwartet und deren Entstehungsgrund sich minder leicht nachweisen läſst. Hierher gehören vorzüglich die Nebentöne der menschlichen Stimme, von denen bereits Sorge[1] redet, wenn er sagt: „Man höre in einer groſsen Kirche einem Prediger, der eine starke Stimme hat, genau zu, so „wird sich allemal wenigstens die Octave und die Quinte mit „hören lassen.“ Ungleich interessanter und genauer beschrieben sind die Erfahrungen, die Vieth[2] von sich selbst mittheilt, nämlich daſs er in der Stille der Nacht nicht die eigentliche sonore Stimme des Nachtwächters hörte, welcher hierzu in der langen Straſse ihm nicht nahe genug war, wohl aber eine sehr hohe, bald die Quinte, bald die Octavquinte oder die Duodecime von jener, die später ausblieb, wenn der Nachtwächter nahe genug war, um dessen eigentliche Töne deutlich zu vernehmen. Ebendieses Phänomen zeigte sich bei dem schnarrenden Tone des Horns eines andern Nachtwächters, dem ein feiner Flageoletton vorausging. Vieth findet es auffallend, daſs diese hohen Nebentöne in gröſserer Ferne gehört werden, als die tiefern Haupttöne, was allerdings mit der oben §. 40. erwähnten Erfahrung Savart's nicht übereinstimmt, wonach die Wirkung der secundären Schwingungen in der Entfernung verschwindet. Der Grund dieser anscheinend widersprechenden Erscheinungen liegt vermuthlich in der verhältniſsmäſsigen Höhe der Töne, indem die Nebentöne in Savart's Versuchen von gleicher oder geringerer Höhe waren, als die Haupttöne, bei Vieth's Beobachtungen aber von weit gröſserer Höhe, die daher sich leichter auf gröſsere Fernen fortpflanzen, als die beträchtlich tiefern, die allezeit starke Wellen erfordern, wenn sie hörbar seyn

1 Vorgemach der musikalischen Composition. 1740. §. 7.
2 G. XXI. 268.

Digitized by Google

sollen, da es so schwer fällt, solche Töne überhaupt zu erzeugen, die von dünnen Körpern auch bei wirklich vorhandenen langsamen Vibrationen gar nicht wahrnehmbar zu seyn pflegen, wie die einer Glasröhre zeigen, die man nur vermittelst der stärkern Fortleitung durch einen gespannten Faden hört.

Von den Nebentönen, als erzeugt durch eigenthümliche Vibrationen der Saiten, redet Thom. Young[1] im Allgemeinen, und von denen, die einem guten Ohre sehr vernehmbar eine tiefe Baſsstimme zu begleiten pflegen, insbesondere mit Beziehung auf Bemerkungen von Knecht, findet man interessante Untersuchungen in der Leipziger musikalischen Zeitung, begleitet von dem Wunsche, daſs genauere Beobachtungen ihre Entstehung mehr aufklären möchten. Auch von Busse[2] hat sich über sie geäuſsert, und Chladni beschreibt diejenigen, die namentlich bei Blaseinstrumenten zum Vorschein kommen, wenn die Art des Anblasens zwischen denen, die zur Hervorbringung des einen und des andern erforderlich sind, ungefähr die Mitte hält. Es können dann bei offenen Pfeifen nur solche Töne beisammen seyn, die mit den geraden Zahlen, und bei gedeckten nur solche, die mit den ungeraden übereinkommen.

Aus dieser Angabe scheint hervorzugehn, daſs die Doppeltöne, wie man die verbundenen Haupt- und Nebentöne nennen könnte, dann erzeugt werden, wenn der schwingende Körper in unmeſsbar kleinen Zeitintervallen abwechselnd diejenigen Impulse erhält, die sowohl dem einen als auch dem andern beider Töne zugehören, und daher die Schwingungen beider ohne merkliche Unterbrechung fortdauern. Hiermit stimmt überein, was Vieth[3] sagt, nämlich daſs ihm früher, als er das Waldhorn erlernte, die Doppeltöne zum Verdruſs sehr gut gelangen, daſs er sie aber später nicht mehr hervorbringen konnte. Geübte Künstler auf diesem Instrumente, die ich darum gefragt habe, gaben mir zur Antwort, daſs es sehr schwer sey, Doppeltöne auf demselben hervorzubringen, und höchstens gelange man durch viele Mühe dahin, neben dem

1 Phil. Trans. 1800. Lectures T. II. p. 548. 550.
2 Beiträge zur Mathematik und Physik. St. X. S. 131.
3 G. XXI. 270.

Digitized by Google

Haupttone noch die Quinte oder die Octave schwach hörbar zu machen. Die Trompete des Automaten, welchen der bekannte Kaufmann aus Dresden um 1818 hören lieſs, gab ganz entschieden und für jeden unverkennbar gleichzeitig zwei Töne, allein dieses geschah dadurch, daſs zwei ungleiche Mundstücke in die nämliche Trompete mündeten. Auch Mälzel's Automat-Trompeter gab gleichzeitig zwei Töne mit der nämlichen Trompete an, und Chladni[1] erkannte die Art, wie dieses geschah, aus dem Mechanismus, welchen der Erfinder ihm zeigte. Hierdurch ist also erwiesen, daſs in einem und demselben Instrumente zwei auf verschiedene Weise schwingende Luftsäulen neben einander bestehn können, ohne sich wechselseitig zu stören. Theoretische Untersuchungen über die Nebentöne, deren Vorhandenseyn man schon in ältern Zeiten nicht bezweifelte, haben bereits Cartesius[2], Mersenne[3], Dan. Bernoulli[4], Math. Young[5], Giordano Riccati[6] und andere angestellt, Biot und Hamel aber haben sie bei ihren später zu erwähnenden Versuchen über die möglichen Abtheilungen einer schwingenden Luftsäule so deutlich wahrgenommen[7], daſs ihre wirkliche Existenz keinem Zweifel unterliegt.

55) Nach den vorhergehenden Untersuchungen entsteht also die Empfindung des Schalles durch die Wahrnehmung der in gleichen Zeitintervallen regelmäſsig wiederkehrenden Vibrationen, die die Gehörnerven treffen, und die Unterscheidung der verschiedenen Töne beruht auf der Wahrnehmung der ungleichen Mengen dieser das Ohr in gleichen Zeiträumen treffenden Schwingungen, wonach dieses ganze Problem auf eine Operation mit Zahlengröſsen hinauskommt, wie schon Leibnitz[8] als höchst auffallend bemerkte. Die Höhe und Tiefe eines einzelnen isolirten Tones ist für sich nicht wahrnehmbar, die Anzahl der ihm zugehörigen Schwingungen ist daher

1 Neue Beiträge zur Akustik. Leipz. 1817. 4. S. 65.
2 Epist. P. II. ep. 75. 106.
3 Harmonie universelle. Par. 1636.
4 Comm. Pet. T. XV. u. T. XIX.
5 Enquiry into the principal phaenomena of Sounds. P. II.
6 Delle corde ovvero fibre elastiche. Sched. IV.
7 Biot Traité. II. 131.
8 Epist. ad diversos. T. I. ep. 154.

Digitized by Google

willkürlich; bloſs sehr geübte oder mit auſserordentlicher musikalischer Feinheit begabte Ohren vermögen diese zu unterscheiden, wie unter andern von Mozart erzählt wird; jedoch ist die Grenze, bis zu welchem Unterschiede in der Zahl der Vibrationen dieses reicht, noch nicht bestimmt. Ungleich leichter dagegen ist es, die Unterschiede der einzelnen Töne und ihre Verhältnisse wahrzunehmen, aber auch hierbei findet eine groſse Ungleichheit statt rücksichtlich der gröſseren oder geringern Feinheit verschiedener Ohren, die durch Uebung bedeutend erhöht werden kann.

Für die verschiedenen Töne ist bloſs ein einziges feststehendes Verhältniſs gegeben, nämlich das der Octave, welcher allezeit die doppelte Zahl der Schwingungen zugehören. Wie viele Töne zwischen diese beiden gelegt werden, darüber ist aus der Natur der Sache keine feste Regel zu entnehmen. Wäre das Ohr im Stande, den Unterschied zu empfinden, welchen eine einzige Schwingung erzeugt, und dürften die durch Chladni angenommenen Vibrationsmengen als genau gelten, so könnten zwischen dem tiefsten Tone von 32 Schwingungen und seiner Octave nur 31 Töne eingeschoben werden, deren Zahl dann bei jeder folgenden Octave verdoppelt würde. Diese Betrachtungen, die zur Bildung eines neuen Tonsystems führen würden und durch die Mängel, die manche bei dem bestehenden zu finden glauben, entschuldigt werden könnten, scheinen mir jedoch ganz überflüssig zu seyn, da bisher noch kein besseres, aus der Natur der Sache theoretisch abgeleitetes, aufgestellt worden ist und mit der Einführung desselben alle vorhandene Compositionen untergehn würden, ein Verlust, der schwerlich durch einen gleichen Gewinn compensirt werden könnte. Das bestehende ist insbesondere auf die vortheilhafte Bedingung gegründet, daſs es einige sehr einfache und andere minder einfache und leicht verständliche mit einander verbindet. Ob es noch andere Tonsysteme giebt, kann ich für jetzt nicht auffinden; nach einer allgemeinen Angabe existirt ein solches bei den Indiern, deren *Grama* oder Tonleiter die Octave in 25 Töne theilen soll[1].

---

1 Asiatic Researches T. IX. N. 9. Vergl. Forkel Allgemeine Geschichte der Musik. Leipz. 2 Bde. 8. Vorschläge zu andern Abtheilungen sind verschiedene gemacht worden, z. B. Sabbatini in Kirch

56) Jeder Ton heiſst in Beziehung auf sein Verhältniſs zu irgend einem andern Tone der *Grundton* und das Verhältniſs zwischen zwei Tönen ein *Intervall*; letzteres ist wieder ein *consonirendes*, wenn es in einfachen ganzen Zahlen ausgedrückt werden kann, im entgegengesetzten Falle ein *dissonirendes*. Die Vereinigung mehrerer Töne heiſst ein *Accord*, welcher gleichfalls consonirend ist, wenn bloſs solche Intervalle darin vorkommen, oder dissonirend; der einfachste Accord ist der *harmonische* Dreiklang, welcher aus dem Grundtone (der *Tonica*), der Tertie und Quinte besteht, wozu man meistens noch die Octave nimmt. Nach dem üblichen Tonsysteme enthält nämlich jede Octave, die man mit C anzufangen gewohnt ist, zwischen dem Grundtone und dessen Octave noch 11 Töne, von denen die 6 zu den untern Tasten gehörigen mit Unrecht ganze und die zwischenliegenden der obern Tasten halbe genannt werden. Das Fortschreiten von einem Tone zu den folgenden einer oder nach einander mehrerer Octaven nennt man *Tonleiter*, und wenn darin bloſs jene 6 ersten vorkommen, eine *diatonische*, wobei das Fortschreiten in einer solchen auch *diatonische Fortschreitung* genannt wird. Auf gleiche Weise giebt es eine *chromatische Fortschreitung*, wenn sie von den untern zu den obern oder umgekehrt durch die nebeneinander liegenden Töne statt findet, und eine *enharmonische*, wenn sie zwischen einem durch Erhöhung entstandenen und dem nächsten durch Erniedrigung gegebenen, also von cis zu des, statt findet; beide werden auch Tonleitern genannt.

Die älteste Bezeichnung der Töne ist die italienische durch Guido von Arezzo aus dem 11. Jahrhunderte, erstreckt sich bloſs auf die 6 ersten Töne der diatonischen Tonleiter und heiſst *ut*, *re*, *mi*, *fa*, *sol*, *la*, weil sie aus den Anfangs-

---

Musurgia T. I. schlug 36 Töne vor, Huyghens 31, Henfling in Miscell. Berol. T. X. p. 150. empfiehlt 50, Berlin in seiner 1767 erschienenen Tonometrie 36, andere 55, Sauveur in Mém. de l'Acad. 1701 bringt sehr zusammengesetzte Abtheilungen in Vorschlag u. s. w. Die groſse Allgemeinheit und das seit so langer Zeit behauptete Ansehn des bestehenden Tonsystems entscheidet sehr für dessen Güte und Naturgemäſsheit. Eine Uebersicht der einfachsten Harmonie durch Octave, Quinte und Tertie giebt L. Euler in Nov. Comm. Pet. XVIII. 333.

Digitized by Google

sylben der halben Verse an Johannes den Täufer entnommen ist, nämlich

ut queant laxis *re*sonare fibris
*mi*ra gestorum *fa*muli tuorum,
*sol*ve polluti *la*bii reatum
Sancte Johannes.

Diese Benennung ist auch zu den Franzosen übergegangen, und in beiden Ländern kommt dann noch der siebente Ton, *si* genannt, hinzu. Eine Erhöhung zum nächsten Tone wird dann durch *dièse*, eine Erniedrigung durch *bémol* bezeichnet, woraus die Zeitwörter *dièser* und *bémoliser* entstanden sind. Die Bezeichnung geschieht durch das anderweitig übliche Kreuz und ein beigesetztes b, also z. B. ut♯ und mi^b, welches heiſsen würde *ut dièse* und *mi bémol;* die verschiedenen Octaven aber werden, von der ursprünglichen ausgehend, durch unten beigesetzte Zahlen, und zwar positive beim Fortschreiten zu gröſserer Höhe, negative aber beim Rückgange zu tieferen, bezeichnet, wonach es also z. B. ein ut_1, ut_2, ut_3.... und ein ut_{-1}, ut_{-2}, ut_{-3}..... giebt. Bei den Deutschen, Holländern, Engländern und den meisten übrigen Völkern bezeichnet man die Töne durch Buchstaben und die Erhöhungen deutsch durch ein angehängtes *is*, die Vertiefungen durch ein angehängtes *es*, bei den Engländern geschieht ersteres durch *sharp*, letzteres durch *flat*, bei den Holländern durch *kruis* und *mol*; alle gebrauchen aber gemeinschaftlich das Kreuz (♯) und das b, beide rechts schräg über dem Buchstaben oder links oberhalb vor der Note, und beide werden durch ein sogenanntes *Bequadrat* (♮) wieder aufgehoben. Endlich erhalten die verschiedenen Octaven ihre Bezeichnung durch die Gröſse der Buchstaben und durch die Zahl der Querstriche, die unter oder über die Buchstaben gesetzt werden. Jede Note kann durch ein Kreuz zum nächstfolgenden Tone erhöht und durch ein b vertieft werden, auch erhöht ein Doppelkreuz (♯♯) zum nächst-nächſtfolgenden, so wie ein Doppel-b (bb) auf gleiche Weise tiefer macht, welche beide durch ein Doppel-Bequadrat (♮♮) wieder aufgehoben werden.

Auf welche Weise in Gemäſsheit des leichten Auffassens der Verhältnisse, in denen die gebräuchlichen Töne zu einander stehn, die bestehende Abtheilung derselben entstehn

Digitized by Google

konnte und auf welche Weise sich zugleich ein Grund zur Bezeichnung durch ganze und halbe Töne erkennen läſst, hat H. W. Brandes[1] auf eine sehr einfache und lichtvolle Weise gezeigt. Das am leichtesten wahrnehmbare Verhältniſs ist das von 1 zu 2, welches die Octave giebt, allein eben dieses ist zu einfach, giebt nicht genug Aufregung, und die Octave dient daher nur hauptsächlich zur Unterstützung des Haupttones (des Grundtones) dann, wenn wir sonstige Töne mit demselben verbinden. Ein sehr leichtes und zugleich angenehmes Verhältniſs dagegen giebt das von 2 zu 3 oder die Quinte, wonach wir also zum Grundtone noch die Quinte erhalten, und da man der leichteren Uebersicht wegen zu ersterem c zu wählen pflegt, so gäbe dieses also c und g. Zwischen beiden liegt ein Verhältniſs in der Mitte, nämlich e mit 5 Schwingungen, wenn c deren 4 und g deren 6 hat, wir erhalten also durch 4,5 und 6 die Töne c, e, g oder den *harmonischen Dreiklang*, welcher mit der Octave verbunden den leichtesten, reinsten und angenehmsten Accord giebt[2]. Wir erhalten also

$$\begin{matrix} c, & e, & g, & \bar{c}. \\ 1 & \frac{5}{4} & \frac{3}{2} & 2 \end{matrix}$$

Sucht man heruntergehend ein gleich einfaches, aber in Folge des Heruntergehens ein umgekehrtes Verhältniſs als das erste

---

1 Vorlesungen über die Naturlehre. Th. I. S. 298. Es scheint mir an der sehr gelungenen Darstellung nur das Einzige auszusetzen zu seyn, daſs Brandes die über die Octave hinausgehenden Verhältnisse zu Hülfe nimmt, die jedoch auf das Ohr bei weitem keinen so leicht verständlichen und angenehmen Eindruck hervorbringen. Ich habe dieses daher möglichst vermieden.

2 Wie angenehm der reine harmonische Dreiklang dem Ohre sey, davon habe ich mich bei sehr vielen Personen, auch solchen, die gar nicht musikalisch waren, vollkommen überzeugt. Man erhält denselben aber nur vermittelst mathematisch reiner Scheibler'scher Stimmgabeln. Auch hierbei gelangt man zu der Ueberzeugung, wie wenig das Ohr die absolute Reinheit der Töne zu unterscheiden vermag. Wendet man nämlich Stimmgabeln an, die nach dem bloſsen Gehöre rein gestimmt sind, so zeigen die bei ihrem Zusammentönen entstehenden Stöſse augenfällig ihre Unreinheit, der harmonische Dreiklang derselben ist dann aber weit weniger angenehm, als der von mathematisch reinen, wie sich bei der Vergleichung beider sehr bald zeigt. Auf dieser von selbst bedingten Reinheit der Töne beruht auch zum Theil die Annehmlichkeit der Töne bei der Aeolsharfe.

Digitized by Google

zwischen c und g = 1 und $\frac{3}{2}$, so ergiebt sich zu $\bar{c}$ als Einheit f = $\frac{2}{3}$, welches zugleich zum Grundtone sehr einfach ist. Somit kommt

$$\begin{array}{ccccc} c, & e, & f, & g, & \bar{c}. \\ 1 & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & 2 \end{array}$$

Zunächst erhält g gleichfalls seinen vollständigen Dur-Accord, seinen harmonischen Dreiklang in der Tertie h und der Quinte $\bar{d}$, die vertieft zu d wird, und man erhält also

$$\begin{array}{ccccccc} c, & d, & e, & f, & g, & h, & \bar{c}. \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{15}{8} & 2 \end{array}$$

Zwischen g und h ist das nämliche Verhältniſs, als zwischen c und e, nämlich $\frac{3}{2} : \frac{15}{8} = 1 : \frac{5}{4}$, und zur Vervollständigung der Dur-Tonleiter muſs also a eingeschaltet werden, welches giebt

$$\begin{array}{cccccccc} c, & d, & e, & f, & g, & a, & h, & \bar{c} \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & \frac{15}{8} & 2 \end{array}$$

Vergleichen wir diese Intervalle unter einander, so zeigt die folgende Zusammenstellung

$$\begin{array}{cccccccc} c & d & e & f & g & a & h & \bar{c} \\ 1 & \frac{9}{8} & \frac{5}{4} & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & \frac{15}{8} & 2 \\ & 1 : \frac{10}{9} & & & & & & \\ & & 1 : \frac{16}{15} & & & & & \\ & & & 1 : \frac{9}{8} & & & & \\ & & & & 1 : \frac{10}{9} & & & \\ & & & & & 1 : \frac{9}{8} & & \\ & & & & & & 1 : \frac{16}{15} & \end{array}$$

daſs von c zu d = $1 : \frac{9}{8}$, von d : e = $1 : \frac{10}{9}$ beinahe gleich ist, wogegen von e : f = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als die Hälfte der vorigen beträgt. Ebenso sind von f zu g = $1 : \frac{9}{8}$, von g zu a = $1 : \frac{10}{9}$, von a zu h = $1 : \frac{9}{8}$ wieder beinahe gleich, von h zu $\bar{c}$ aber = $1 : \frac{16}{15}$ nur etwas mehr als halb so groſs, weswegen die groſsen Fortschreitungen Intervalle eines ganzen Tones, die kleinern aber eines groſsen halben Tones genannt werden.

Diese Tonleiter ist zwar für c vollständig, allein sie muſs auch eine gleiche Vollständigkeit für jeden andern in ihr enthaltenen Ton haben, sobald man diesen als Grundton betrachtet. Wird hierzu g gewählt und die Tonleiter zuerst hierfür fortgesetzt, so wird aus der für c

c,	d,	e,	f,	g,	a,	h,	$\bar{c}$,	$\bar{d}$,	$\bar{e}$,	$\bar{f}$,	$\bar{g}$
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3

die für g als Grundton gebildete

g,	a,	h,	c,	d,	e,	f,	$\bar{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{16}{9}$	2

Hierin ist zuerst der harmonische Dreiklang genau so, wie im c-dur Accorde, alle Töne haben ein ähnliches Verhältniſs (mit der geringfügigen Ausnahme von g zu a, die aber verschwindet, weil sie zwischen dem harmonischen Dreiklangs-Verhältnisse liegt), aber vor dem Uebergange zur Octave, also zu $\bar{g}$, sollte als wesentlich nur ein groſser halber Ton vorhergehn, auf e aber ein ganzer Ton folgen; es muſs also f übersprungen und statt dessen fis seingeschaltet werden. Diesemnach erhält man

g,	a,	h,	c,	d,	e,	fis,	$\bar{g}$
1	$\frac{10}{9}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

eine mit der für c *dur* bis auf eine unmerkliche Verschiedenheit übereinstimmende Tonleiter. Würden diese Betrachtungen weiter fortgesetzt, so lieſse sich dadurch zeigen, wie die übrigen, eben deshalb halbe Töne genannt, eingeschaltet werden muſsten. Um dieses schnell zu übersehn, darf man nur die Verhältnisse berücksichtigen, aus denen die für c und g gegebenen Tonleitern in *dur* bestehn, wie diese hauptsächlich in dem obigen Schema für c *dur* gegeben sind, welches die Verhältnisse der einzelnen Töne zu einander ausdrückt. Die Tonleiter enthält nämlich nach der Tonica zuerst zwei ganze Töne (d und e), dann einen groſsen halben Ton (f), dann drei ganze Töne (g, a und h) und von diesem zuletzt wieder einen Uebergang zur Octave durch einen groſsen halben Ton. Nehmen wir also f als Tonica, so hat dieses in g und a zwei ganze Töne; dann soll aber ein groſser halber Ton folgen, welcher durch h nicht gegeben wird, weswegen zwischen a und h ein solcher durch b eingeschaltet werden muſs. Die Tonart f *dur* hat daher nur ein b als Vorzeichnung. Die Fortschreitung von c *dur* zum Accorde von seiner Quinte g erforderte für letzteren ein Kreuz; wird also von g abermals zur Quinte bis $\bar{d}$ fortgeschritten und hierfür d substituirt, so müssen in d *dur* alle Töne von g *dur* liegen, auſser daſs der vor $\bar{d}$ vorhergehende Ton ein groſser halber Ton

Digitized by Google

seyn muſs, was also cis erfordert, und d *dur* erhält sonach zwei Kreuze cis und fis. Auf gleiche Weise gelangt man von d zur Quinte a, und eine gleiche Betrachtung zeigt, daſs sonach a *dur* drei Kreuze, cis, fis und gis, haben müsse; die Quinte von a ist e, und e *dur* erhält demnach vier Kreuze, wie aus gleichem Grunde h *dur* deren fünf und, ungeachtet es nicht mehr sogenannte halbe Töne unter den Tasten giebt, doch fis *dur* deren sechs und cis *dur* deren sieben erhalten muſs.

Rücksichtlich der *Dur*-Tonleitern, in denen die Vorzeichnung durch ein oder mehrere b geschieht, findet ein auf dem Verhältnisse der Töne beruhendes gleiches Gesetz statt, und da die Kenntnisse dieses und des vorhergehenden das Behalten der Vorzeichnungen erleichtert, so pflegen diese Elemente des *Generalbasses* von guten Musiklehrern gleich anfangs den Schülern bekannt gemacht zu werden. Es ist so eben gezeigt worden, daſs, um eine mit c *dur* gleiche Tonfolge zu erhalten, für f *dur* ein b vorgezeichnet werden muſs. Der Ton f ist aber die Unterquinte von $\bar{c}$, und nimmt man also abermals die Unterquinte von f, so gelangt man zu B, welches demnach zwei b vorgezeichnet erhalten muſs. Zu ebendiesem Resultate gelangt man durch die Betrachtung der Tonfolge gleichfalls. Es folgen nämlich auf die Tonica B zwei ganze Töne, c und d, dann muſs ein groſser halber Ton folgen, weswegen nicht e, sondern durch Vertiefung mittelst eines b der groſse halbe Ton es (e^b nicht d♯) erfordert wird, auf welchen richtig die ganzen Töne f, g und a folgen, letzterer als groſser halber Ton von der Octave b. Die Unterquinte von b giebt es, und sonach muſs es *dur* drei b zu Vorzeichen haben, wir auch aus der Betrachtung der Tonfolge hervorgeht. Auf die Tonica es folgen nämlich f und g, und um dann den groſsen halben Ton zu erhalten, kann nicht der ganze Ton a folgen, sondern dieser muſs um einen halben vertieft werden, also aës oder as (a^b) seyn, woraus zugleich ersichtlich wird, weswegen der nämliche Zwischenton zwischen g und a bei a *dur* durch gis, bei es *dur* aber durch as bezeichnet wird. Auf as folgen die ganzen Töne b, c und d, letzterer als groſser halber Ton vor der Octave. An diesem Beispiele läſst sich auſserdem der Unterschied der verschieden bezeichneten sogenannten halben Töne, der durch ein Kreuz erhöheten und der durch ein b erniedrigten, zeigen. Bei a *dur* nämlich

wird nach fis ein ganzer Ton erfordert, g muſs daher zu gis (g♯) erhöht werden; bei es *dur* aber soll a zu einem groſsen halben Tone as (a♭) erniedrigt werden, und es ist also ein Unterschied zwischen gis und as. Nach der oben angegebenen Bezeichnung durch Zahlen sollte gis für a *dur* durch $\frac{15}{16} \times \frac{5}{3}$ und as durch $\frac{16}{15} \times \frac{3}{2}$ ausgedrückt werden, welches auf gleiche Nenner gebracht für gis $\frac{125}{80}$ und für as $\frac{128}{80}$ Schwingungen gäbe. Rücksichtlich der *Dur*-Tonarten mit Vorzeichnungen von b läſst sich nach dem Vorhergehenden leicht finden, daſs f *dur* ein b, b *dur* zwei, es *dur* drei, as *dur* vier, des *dur* fünf, ges *dur* sechs und ces *dur* sieben b zur Vorzeichnung hat.

Die *Moll*-Tonarten lassen sich auf gleiche Weise übersichtlich darstellen. Die Eigenthümlichkeit der *Dur*-Tonarten zeigt sich in demjenigen Verhältnisse, welches bei ihnen den harmonischen Dreiklang bildet, wonach das der Tonica zu der groſsen Tertie und der Quinte durch die Zahlen 4:5:6 ausgedrückt werden kann, und vielleicht giebt der rasche Fortgang vom Grundtone durch zwei ganze Töne derselben ihre Eigenthümlichkeit. Das Intervall von der Tonica zur Quinte besteht aus zwei Tertien, wovon die erste die groſse, die zweite die kleine ist, wie das Verhältniſs 4:5 und 5:6 ausdrückt. Werden beide Verhältnisse gleich gemacht, wird dadurch das raschere Fortschreiten angehalten, so wird die Tonart etwas schwerfalliger; sie wird weicher, zur Moll-Tonart, wobei die Intervalle $4:\frac{24}{5}$ und $\frac{24}{5}:6$ sind. Bei aufsteigender Tonfolge ist hierdurch allein der Unterschied der weichen Tonart von der harten gegeben, denn auſser dieser kleinen Tertie ist von c aus die Tonfolge für *dur* und für *moll* gleich, beim Herabsteigen aber ist der Uebergang von der Tonica zu zwei ganzen und dann einem groſsen halben Tone erforderlich. Für c *moll* hat man daher aufsteigend c, d, es, f, g, a, h, $\bar{c}$, herabsteigend dagegen $\bar{c}$, b, as, g, f, es, d, c. Die letztere Reihenfolge, die durch die kleine Tertie statt der groſsen in *Dur* bedingt ist, muſs sich also ohne Vorzeichnung in der gewöhnlichen Tonreihe befinden, sobald man um eine kleine Tertie herabgeht, also von c zu A; denn hierbei hat man von der Tonica A einen ganzen Ton in H, dann einen groſsen halben Ton in c, demnächst lauter ganze Töne in d und e, von diesem einen übermäſsigen in fis und endlich einen

Digitized by Google

ganzen in gis, von welchem der Uebergang zur Octave a erfolgt, statt daſs beim Herabsteigen die Tonleiter von a durch g, f, e, d, c, H zu A ohne eine Vorzeichnung fortgeht. Sind dann die Schwingungsmengen von C ausgehend

C,	D,	E,	F,	G,	A,	H,	c,	d,	e,	f,	g,	a
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2	$\frac{9}{4}$	$\frac{5}{2}$	$\frac{8}{3}$	3	$\frac{10}{3}$

so werden sie für die Octave von A ausgehend

A,	H,	c,	d,	e,	f,	g,	a
1	$\frac{9}{8}$	$\frac{6}{5}$	$\frac{27}{20}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{9}{5}$	2

worin $\frac{27}{20}$ nur wenig von $\frac{4}{3}$ verschieden ist. Hat also die harte Tonleiter von c aus die nämliche Tonfolge, als die weiche von a anfangend, so ergiebt sich aus dem Vorhergehenden, daſs man die Vorzeichnungen für die *Moll*-Tonleitern augenblicklich finden kann, sobald die der *Dur*-Tonleiter für die kleinere Tertie des nämlichen Tones bekannt ist, da beide einander gleich sind. Es haben sonach c *moll* und es *dur*, d *moll* und f *dur* u. s. w. gleiche Vorzeichnungen. Es ergiebt sich ferner von selbst, daſs man die Vorzeichnungen der *Moll*-Tonarten finden könne, wenn man auf gleiche Weise, als oben für die *Dur*-Tonarten gezeigt worden ist, statt bei letztern von c auszugehn, bei ersteren von a aus zu den Quinten aufsteigend und absteigend übergeht. Die Quinte von A ist e, also hat e *moll* ein Kreuz, die Unterquinte von A ist D und D *moll* hat also ein b, welche Vorzeichnung die herabgehende Tonfolge bezeichnet.

Die 12 Töne irgend einer Octave sind also aufsteigend dem Namen und ihrer Bezeichnung nach folgende:

c	cis	d	dis	e	f	fis	g	gis	a	ais	h
c,	$c\sharp$,	d,	$d\sharp$,	e,	f,	$f\sharp$,	g,	$g\sharp$,	a,	$a\sharp$,	h,

herabsteigend dagegen:

c	h	b	a	as	g	ges	f	e	es	d	des
c,	h,	b,	a,	a^b,	g	g^b,	f,	e,	e^b,	d,	d^b.

Insofern aber jeder Ton durch ein Kreuz zum nächsten Tone erhöht, durch ein b aber vertieft werden kann, kommen zu der obern Reihe noch $e\sharp$ (eis), $h\sharp$ (his) und zu der untern c^b (ces), f^b (fes) hinzu. Ein mehrmals, z. B. durch Schwanenberg[1],

1 Ueber Unnütz- und Unschicklichkeit des H im musikal. Alphabete. Wien u. Leipz. 1797. S.

Leop. Mozart[1], J. J. Klein[2] und Chladni[3] gerügter Fehler dieser übrigens sehr zweckmäſsigen Bezeichnung ist die durch h und b, indem vielmehr h durch b und dann b♯ durch bis, b^b durch bes bezeichnet werden müſste, wie L. Mozart auch gethan hat. Die Bezeichnung der Octaven nach ihrer Höhe fängt jederzeit mit c an und wird dann bei den übrigen Tönen beibehalten, so daſs also das g oder h u. s. w., welches zwischen dem groſsen und kleinen c liegt, das groſse g oder groſse h genannt und auf gleiche Weise bezeichnet wird. Den Anfang macht hiernach das tiefſte $\underline{\underline{C}}$, welches durch $\underline{\underline{D}}$, $\underline{\underline{E}}$ u. s. w. bis Contra — $\underline{C}$ geht, dann folgt das groſse C, das tiefſte des Forte-Piano und des Violoncells, dann das kleine oder gewöhnlicher ungestrichene c, und so geht es zum eingestrichenen $\bar{c}$, zum zweigestrichenen $\bar{\bar{c}}$, zum dreigestrichenen $\bar{\bar{\bar{c}}}$ u. s. w. fort, indem die Töne vom groſsen C bis zum dreigestrichenen $\bar{\bar{\bar{c}}}$ die vier Octaven der älteren Claviere umfassen.

Da jeder Ton als Grundton betrachtet werden kann, sobald in Beziehung auf die Harmonie von den Verhältniſsen der übrigen Töne zu ihm die Rede ist, so kann man die Intervalle von jedem beliebigen Tone ausgehend bestimmen; meistens wählt man dazu aber das c. Insofern aber die Intervalle nach der Menge der Schwingungen in einer gegebenen Zeit bestimmt werden, zugleich aber bereits oben §. 13. gezeigt worden ist, daſs die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, wovon nach §. 39. sehr leicht eine Anwendung auf die Längen der schwingenden Luftsäulen gemacht werden kann, so giebt folgende Tabelle die sämmtlichen einer Octave zugehörenden, also innerhalb der Gröſse 1 bis 2 liegenden Intervalle nach ihrem geometrischen oder Zahlenverhältniſse der Schwingungen an.

---

1 Violinschule.
2 Musikal. Zeitung 1799. N. 41.
3 Akustik S. 21.

Töne.	Schwingungen.		Saitenlängen.	
c:c Einklang	1	1,00000	1	1,00000
c:cis übermäſsige Prime	$\frac{25}{24}$	1,04167	$\frac{24}{25}$	0,96000
c:des kleine Secunde	$\frac{16}{15}$	1,06667	$\frac{15}{16}$	0,93750
c:d groſse Secunde	$\frac{10}{9}$	1,12500	$\frac{9}{10}$	0,90000
c:dis übermäſsige Secunde	$\frac{125}{108}$	1,15741	$\frac{108}{125}$	0,86400
c:es kleine Tertie	$\frac{6}{5}$	1,20000	$\frac{5}{6}$	0,83334
c:e groſse Tertie	$\frac{5}{4}$	1,25000	$\frac{4}{5}$	0,80000
c:fes verminderte Quarte	$\frac{32}{25}$	1,28000	$\frac{25}{32}$	0,78125
c:f groſse Quarte	$\frac{4}{3}$	1,33334	$\frac{3}{4}$	0,75000
c:fis übermäſsige Quarte	$\frac{25}{18}$	1,38889	$\frac{18}{25}$	0,72000
c:ges verminderte Quinte	$\frac{36}{25}$	1,44000	$\frac{25}{36}$	0,69445
c:g groſse Quinte	$\frac{3}{2}$	1,50000	$\frac{2}{3}$	0,66667
c:gis übermäſsige Quinte	$\frac{25}{16}$	1,56250	$\frac{16}{25}$	0,64000
c:as kleine Sexte	$\frac{8}{5}$	1,60000	$\frac{5}{8}$	0,62500
c:a groſse Sexte	$\frac{5}{3}$	1,66667	$\frac{3}{5}$	0,60000
c:ais übermäſsige Sexte	$\frac{125}{72}$	1,73612	$\frac{72}{125}$	0,57600
c:b kleine Septime	$\frac{16}{9}$	1,77778	$\frac{9}{16}$	0,56250
c:h groſse Septime	$\frac{15}{8}$	1,87500	$\frac{8}{15}$	0,53334
c:ces verminderte Octave	$\frac{48}{25}$	1,92000	$\frac{25}{48}$	0,52083
c:$\overline{c}$ vollkommene Octave	2	2,00000	2	0,50000

Die hier angegebene Bestimmung der Intervalle ist die gewöhnliche und kann bei akustischen Untersuchungen unbedenklich als richtig angenommen werden; inzwischen ist man keineswegs über ihre absolute Genauigkeit überall einverstanden. So giebt Chladni für die übermäſsige Secunde auch $\frac{75}{64}$, für die groſse Secunde $\frac{9}{8}$, für die kleine Septime $\frac{9}{5}$ an, nach Hällström[1] ist das Verhältniſs der groſsen Sexte statt $\frac{5}{3}$ auch wohl $\frac{52}{31}$ oder $\frac{27}{16}$ oder $\frac{270}{161}$ oder $\frac{109}{65}$. Solche Unterschiede sind jedoch zu gering, als daſs das bloſse Ohr sie ohne weitere Mittel wahrnehmen könnte. Insofern auſserdem ein jeder Ton als Tonica angesehn werden kann, so müſste zwischen ihm und seiner Octave eine gleiche Reihenfolge von Intervallen liegen, als hier für c angenommen worden ist, welches voraussetzen würde, daſs alle folgende Töne zu jedem vorhergehenden in einem gleichen Verhältnisse ständen, als sie eben für die Reihenfolge der Octave von c an gerechnet nach-

1 Poggendorff's Ann. XXIV. 442.

gewiesen worden ist, was auf den ersten Blick als unstatthaft erscheint und auſserdem mit den verschiedenen Verhältnissen, die so eben für cis und des, dis und es, e und fes u. s. w. angegeben worden sind, im Widerspruche steht. Diesemnach ist das Verhältniſs c : cis = 24 : 25 etwas zu klein, das andere ::des = 15 : 16 etwas zu groſs, und da man nicht füglich alle diese verschiedenen Verhältnisse durch wirkliche Töne ausdrücken kann, so muſs man zwischen beiden ein mittleres nehmen, worin beider Ungleichheiten möglichst nahe ausgeglichen sind. Hiernach erhält man folgende 12 Töne der Octave von c ausgehend:

c, cis, d, dis, e, f, fis, g, gis, a, b, h, c.
des, es, fes, eis, ges, as, ais, ces, his.

Die Abweichung der Intervalle von ihrer geometrischen Richtigkeit nennt man *Temperatur*, die Abweichung jedes einzelnen Intervalles eine *Schwebung*, und wenn die Unrichtigkeiten ganz gleichförmig vertheilt werden, eine *gleichschwebende Temperatur*, wenn die Vertheilung aber ungleichförmig geschieht, eine *ungleichschwebende Temperatur.* Die geringen Abweichungen werden vom Ohre nicht wahrgenommen, man glaubt vielmehr die reinen Intervalle zu hören, und wählt daher am vortheilhaftesten die gleichschwebende Temperatur, da man in der heutigen Musik von allen möglichen Tonarten gleichmäſsig Gebrauch macht. Unter den ungleichschwebenden Temperaturen hat die *Kirnberger'sche* am meisten Aufsehn erregt, Chladni verwirft indeſs auch diese, nebst allen andern, von denen er sagt, daſs jeder Erfinder die seinige für die beste hält. Die folgende Tabelle enthält die Verhältniſszahlen der Saitenlängen und Schwingungszahlen für die gleichschwebende und die Kirnberger'sche Temperatur für die 12 Töne der Octave und zugleich die absoluten Vibrationsmengen der ungestrichenen Octave, weil darin der normale Ton des Stimmens, nämlich $\bar{a}$ vorkommt, wofür die oben §. 50. gefundene, der Stimmung der meisten Orchester genau oder in sehr genähertem Werthe zukommende, absolute Menge von Schwingungen, nämlich 880 in 1 Secunde, angenommen worden ist, eine Bestimmung, die ich um so lieber wähle, weil diese Zahlengröſse sich noch obendrein leicht behalten und zugleich bequem durch zwei theilen läſst, so daſs man sie leicht auf andere Octaven übertragen kann. Auſserdem haben die neue-

Digitized by Google

sten Wiener Forte-Piano's, namentlich von Streicher und Stein, eine nur unmerklich höhere Stimmung; da diese aber bei den älteren, sowie auch bei den französischen und englischen, etwas tiefer ist, so scheint es mir am räthlichsten, namentlich des Gesanges wegen, die Stimmung nicht höher zu treiben, sondern bei ā mit 880 Schwingungen in der Secunde stehn zu bleiben.

	Gleichschwebende Temperatur.			Kirnberger'sche Temperatur.		
	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	Schwingungsmengen absolute	Saitenlängen	Schwingungsmengen relative	Schwingungsmengen absolute
c̄	1,00000	1,00000	523,25	1,00000	1,00000	523,25
cis	0,94387	1,05946	554,39	0,94922	1,05349	551,24
d	0,89090	1,12246	587,33	0,88889	1,12500	588,66
dis	0,84090	1,18921	622,26	0,84375	1,18518	620,11
e	0,79370	1,25992	659,26	0,80000	1,25000	654,07
f	0,74915	1,33484	698,46	0,75000	1,33334	697,69
fis	0,70710	1,41421	739,99	0,71112	1,40625	735,82
g	0,66742	1,49831	783,99	0,66667	1,50000	784,88
gis	0,62996	1,58740	830,62	0,63281	1,58024	826,86
a	0,59461	1,68179	880,00	0,59629	1,67702	880,00
b	0,56123	1,78180	932,34	0,56250	1,77778	930,22
h	0,52973	1,88775	987,77	0,53334	1,87500	981,10
c̿	0,50000	2,00000	1046,51	0,50000	2,00000	1046,51

Das bisher Gesagte genügt, um bei physikalisch-akustischen Untersuchungen hinlängliche Auskunſt zu geben. Sollen die Intervalle rein, nicht falsch oder unrein seyn, was man bei den Sängern auch *Detoniren* nennt, so müssen streng genommen die einzelnen Töne die oben angegebenen geometrischen Verhältnisse zu einander haben. Die menschliche Stimme kann vermöge ihrer Biegsamkeit diese genau darstellen, wenn beim Sänger hinlänglich feines Gehör und genügende Fertigkeit vereint sind. Bei den Bogeninstrumenten hängt es von diesen nämlichen Fähigkeiten ab, ob der Künstler beim Erzeugen der Töne durch gehöriges Auſsetzen der Finger sie völlig rein darstellt. Die Schwierigkeiten sind gröſser bei denjenigen Blasinstrumenten, bei denen die Länge der schwingenden Luftsäule nicht durch Klappen verändert wird, z. B. beim Horn, der Trompete u. s. w., denn bei diesen müssen

die richtigen Intervalle durch die Modificationen des Anblasens rein dargestellt werden, bei den übrigen geschieht dieses durch das nämliche Mittel und durch Anwendung der Klappen, deren Zahl eben deswegen bei manchen so groſs ist. Unter den Instrumenten mit festen Tönen sind einige so mangelhaft, daſs sie für die Tonart des Stückes jedesmal rein gestimmt werden müssen, wie Guitarren und die Harfen, die kein vollkommenes Pedal haben, bei den übrigen, namentlich den Orgeln und Forte-Piano's, wird die gleichschwebende oder irgend eine ungleichschwebende, vorzugsweise die Kirnberger'sche Temperatur durch das Stimmen erhalten, auf jeden Fall eine solche, die die Ungleichheiten zwischen cis und des, dis und es u. s. w. so weit ausgleicht, daſs jede Tonart auf gleiche Weise rein erscheint. Auf welche Weise dieses für die verschiedenen Schwebungen geschieht, meistens durch Ausgleichung der Quinten und deren Octaven, muſs aus den hierüber handelnden Werken entnommen werden[1].

56) Ein einzelner Ton kann nur dann angenehm seyn, wenn er bestimmt ist, das heiſst, wenn er durch regelmäſsig wiederkehrende Hauptschwingungen des tönenden Körpers und die hierzu paſslichen Nebenschwingungen der mit ihm verbundenen Körper erzeugt wird; eine widerliche Afficirung des Ohrs findet statt, wenn das Gegentheil hiervon eintritt. Ein zweiter Grund der Annehmlichkeit einzelner Töne liegt in der Art, wie die Vibrationen erzeugt und zum Ohre fortgeführt werden. Manche derselben sind scharf und ich glaube sie mit den Prellstöſsen eines harten Körpers vergleichen zu können, statt daſs andere weicher und runder, gleichsam einem drückenden Stoſse ähnlich, die Gehörnerven treffen. Eine ganz verschiedene Empfindung würden in gleichen Zeiten gleichmäſsig wiederholte und gleich starke Stöſse mit einem eisernen und einem hölzernen Stäbchen, beide von der nämlichen Beschaffenheit, gegen irgend einen Theil des mensch-

1 Ueber die Theorie und das Mathematische dieser Aufgabe handelt sehr gründlich Chladni in seiner Akustik. Praktische Anleitungen findet man in: Neidhard mathematische Abtheilung des Monochord's. 1732. Marpurg Versuch über die musikalische Temperatur. Berl. 1776. Lambert Remarques sur le Tempérament cet., in Mém. de Berl. 1774. Tib. Cavallo in Phil. Trans. 1788. T. LXXVIII. P. II.

lichen Körpers gerichtet, erzeugen, und durch diese Aehnlichkeit läſst sich, wie ich glaube, der Unterschied gleicher, aber rücksichtlich der Annehmlichkeit sehr verschiedener Töne deutlich machen. So sind unter andern die Töne der Glasharmonica eigenthümlich scharf, manche können sie nicht ertragen, und ich gestehe, daſs ich selbst sie zwar wegen ihrer Reinheit und Politur schön nennen möchte, allein wegen ihrer Schärſe sind sie mir so unangenehm, daſs ich sie möglichst vermeide. Es erstreckt sich dieses auch auf Töne, die mit dem Bogen erzeugt werden, und sogar auf die des Forte-Piano, namentlich auf den ganz verschiedenen Anschlag, der bei einigen Spielern hart, bei andern weich ist, beides in vielfachen Abstufungen, worauf bei gleicher Fertigkeit und gleichem Vortrage die gröſsere oder geringere Annehmlichkeit der Töne beruht. Hierbei kommt dann allerdings die Art der erzeugten Vibrationen der Saiten sehr in Betrachtung, die oben §. 9 ff. näher untersucht worden ist.

Die durch die Verbindung zweier und mehrerer Töne gegebenen *Intervalle* sind nach der so eben beendigten Untersuchung consonirend, wenn sich ihre Verhältnisse durch einfache Zahlen ausdrücken lassen; im entgegengesetzten Falle aber sind sie dissonirend. Im Allgemeinen darf angenommen werden, daſs die consonirenden Intervalle für sich angenehm sind, die dissonirenden aber unangenehm; allein eine bloſse Folge von Consonanzen würde ebenso, wie eine anhaltende Wiederholung des nämlichen, an sich sehr schönen Tones, ermüden und könnte selbst unangenehm werden. Hieraus ergiebt sich evident, daſs die gewöhnliche Behauptung, Einfachheit sey die *einzige* Bedingung der Schönheit in der Musik, nicht bloſs unbestimmt ist, sondern auch streng genommen zu einem ganz falschen Resultate führen müſste. Die aus der Wahrnehmung eines einzelnen schönen Tones entspringende Annehmlichkeit gleicht derjenigen, die auch auf andere Sinne, auf das Auge namentlich, durch eine Farbe, aber auch auf die nicht edlen Sinne, den Geschmack und den Geruch, hervorgebracht wird, die Consonanz zweier Töne geht wegen des bestehenden Zahlenverhältnisses schon mehr zum Geistigen über und übertrifft das, was durch die Zusammenstellung von zwei Farben erzeugt wird, deswegen beträchtlich, weil zwischen diesen ein solches, bloſs durch Seelenthätigkeit wahr-

Digitized by Google

nehmbares Verhältniſs nicht statt findet. Aus eben diesem Grunde hat man in Folge nicht gehöriger Würdigung des bestehenden Unterschiedes vergebens versucht, *Farben-Claviere* darzustellen. Die Operationen der Seele werden zusammengesetzter bei der Wahrnehmung des Zusammenfallens und der Reihenfolge verschiedener Intervalle, hierbei werden die Dissonanzen wichtig, insofern sie die Aufmerksamkeit und das Bestreben erregen, auf eine zu erfassende Weise von ihnen wieder zu den Consonanzen geführt zu werden, wie sich schon daraus deutlich ergiebt, daſs es für die meisten Menschen höchst widerlich ist, wenn man ein Stück mit einer Dissonanz schlieſst oder wenn dasjenige geschieht, was man nennt einen Gedanken (einen Satz) nicht zu Ende bringen. In dieser Hinsicht unterscheidet sich sehr diejenige natürliche Anlage, die man musikalisches Gehör nennt, welche auf der gröſsern oder geringern, mehr oder minder ausgebildeten Fertigkeit beruht, den Zusammenhang der verschiedenen mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervalle zu begreifen. Die Gewohnheit hat hierauf gleichfalls einen bedeutenden Einfluſs und kann bewirken, daſs man einer Gattung von Tonstücken oder den Productionen eines gewissen Componisten, womit man sich am meisten vertraut gemacht hat, vorzüglich oder ausschlieſslich Beifall schenkt. Für die Mathematik würde es eine zu schwierige und allzuweitläuftige Aufgabe seyn, den Zusammenhang zwischen den gleichzeitigen und in kürzern oder längern Zwischenräumen einander folgenden und mit einander wechselnden consonirenden und dissonirenden Intervallen durch Zahlengröſsen nachzuweisen, sie setzt ihren Forschungen im Gebiete der Akustik Grenzen und überläſst die Aufsuchung der Regeln der Harmonie der Aesthetik der Musik, der *Tonsetzkunst.*

E. Specielle Untersuchungen über die Entstehung der Töne durch die verschiedenen Mittel, oder von den musikalischen Instrumenten.

57) Die verschiedenen Arten der Erzeugung von Tönen sind zwar bereits bei der Untersuchung der Schallschwingungen abgehandelt worden, es kommen jedoch dabei noch manche Eigen-

thümlichkeiten in Betrachtung, die hier noch kurz erwähnt zu werden verdienen. Die hierbei zu befolgende Ordnung bietet sich von selbst dar, indem es am zweckmäſsigsten ist, zuerst von denjenigen Instrumenten zu handeln, bei denen starre Körper schwingen, und dann von denjenigen, bei denen die schwingende Luftsäule das eigentliche tönende Mittel ist. Unter den letztern giebt es verschiedene, bei denen beide Arten von Körpern den Ton erzeugen, wobei es oft schwer bestimmbar ist, welcher von beiden der eigentlich bedingende sey; inzwischen ist die Schärfe der Abtheilung nicht gerade Hauptsache.

a) Instrumente aus starren oder gespannten elastischen Körpern.

58) Die Untersuchung der Instrumente, bei denen starre Körper schwingen, die entweder gespannt oder an sich elastisch sind, bietet die geringsten Schwierigkeiten dar. Sind diese Körper Saiten, so werden sie entweder mit Hämmern, Stiften und auf sonstige Weise geschlagen, oder mit den Fingern geschnellt, oder mit einem Bogen gestrichen. Die unter diese Classe gehörigen brauchbaren Instrumente sind ihrem Wesen nach bekannt, die Theorie der durch sie zu erzeugenden Töne ist aus dem Vorhergehenden deutlich, eine nähere Beschreibung derselben gehört zum praktischen Instrumentenbau.

Unter die minder bekannten, seltenern und einer nähern Beschreibung würdigen Instrumente gehört die *Glasharmonica*. Die Idee dazu ist aus dem Tönen gewöhnlicher Gläser, wenn deren Rand mit einem nassen Finger gerieben wird, entnommen, Benjamin Franklin aber erhob sie eigentlich zu einem musikalischen Instrumente dadurch, daſs er die in einander geschobenen Glocken auf einer horizontalen Axe befestigte, diese vermittelst eines Schwungrades umdrehte und es dadurch möglich machte, mehrere gleichzeitig mit den Fingern zu berühren und leichter von der einen zur andern überzugehn[1]. Später hat v. Meyer zu Knonow die halbkugelför-

1 C. Voigteding Archiv nützlicher Erfindungen. 1792. S. 1.. Eine gewisse Miſs Dawis soll schon 1765 eine besessen und gespielt haben. Halle Magie. III. 178.

migen Glocken mit länglichen vertauscht [1], Röllig zuerst, dann Hessel und Klein haben sie mit einer Tastatur versehn [2], da es aber bei ihr vorzugsweise auf Reinheit und völlige Gleichmäſsigkeit des Tones ankommt, so darf man mit Recht sagen, daſs Grenié sie in gröſster Vollkommenheit dargestellt habe, indem er die Glocken inwendig und auswendig zu gleichmäſsiger Dicke schliff und dann oben so lange wegnahm, bis die vollständig reine Stimmung vorhanden war [3].

Chladni's Instrumente mit der Streichwalze verdienen noch besonders genannt zu werden, da ihre Töne die Eigenthümlichkeit haben, daſs sie von Schwingungen herrühren, in welche die tönenden Körper durch andere mit ihnen verbundene vibrirende versetzt sind, und wovon der Mechanismus lange ein Geheimniſs blieb (§. 40). Das erste zu dieser Classe gehörige Instrument ist das *Euphon*, welches der Erfinder im Jahre 1790 zu Stande brachte und von dieser Zeit an öffentlich zeigte. Dasselbe besteht aus einer 3,5 Octaven umfassenden Claviatur aus theils weiſsen, theils schwarzen horizontal liegenden Glasstäben, die mit nassen Fingern nach der Länge gestrichen, dadurch in longitudinale Schwingungen versetzt werden und diese den mit ihnen verbundenen, in einem hintern Kasten verborgenen, verticalen Glas- oder Metallstäben mittheilen, deren hierdurch erzeugte transversale Schwingungen dann den eigentlichen Ton geben [4]. Einige haben den Bau aus dem äuſsern Ansehn der Claviatur zum Theil errathen und das Instrument nachgebildet, jedoch ist keins von diesen genauer bekannt geworden, auſser das durch Maslosky verfertigte *Coelison*, welches sehr gepriesen wurde [5], nach dem von mir gehörten Originale aber in Vergleichung mit andern Instrumenten ebenso unvollkommen ist, als das ursprüngliche doch eigentlich genannt werden muſs. Dasselbe besteht aus einem aufgerichteten Flügel mit Saiten, wie das Forte-Piano bezogen, jedoch werden dieselben nicht durch Hämmer zum Schwingen gebracht, sondern durch horizontale, an ihnen befestigte, runde Fischbeinstäbchen, die der

1 Journ. von und für Deutschland. 1784. S. 2.

2 Musikal. Zeit. 1799. S. 675.

3 Biot Traité. T. II. p. 197.

4 Chladni's Beiträge zur praktischen Akustik und zur Lehre vom Instrumentenbau u. s. w. Leipz. 1821. S. 135 ff. Vergl. G. LXIX. 51.

5 G. XX. 128.

Länge nach mit den Fingern gestrichen werden; letztere sind dann nicht naſs, vielmehr bedient sich der Spieler lederner, mit Colophoniumpulver eingeriebener Handschuhe [1].

Als eine bedeutende Verbesserung dieser Art Instrumente ist die *Streichwalze* zu betrachten, die, gleichfalls von Chladni erfunden, dazu dient, die tönenden Stäbe mittelbar oder unmittelbar in Schwingungen zu versetzen. Sie besteht aus einer etwa 4 Z. dicken, mit Glascylindern überzogenen oder hölzernen, selten oder nie metallenen, horizontal liegenden und der Länge der Claviatur angemessenen Walze mit einem Schwungrade und einer Kurbel, die durch eine herabgehende Stange mit einem Fuſstritte nach Art der Spinnräder durch Treten umgedreht wird. Vermittelst einer geeigneten Claviatur werden dann die schwingenden Stäbe entweder selbst, oder die in ihrer Mitte befestigten Hülfsstäbe gegen diese Walze gedrückt, als Zwischenmittel dient ein Stück Filz oder Leder, und indem dann die gläserne Walze benetzt oder die hölzerne mit Colophoniumpulver eingerieben ist, so entsteht eine Reibung, wodurch die Stäbe zum Vibriren gebracht werden [2]. Chladni nannte sein Instrument *Clavicylinder,* andere Künstler bildeten dasselbe ungeachtet des Geheimhaltens der Bauart nach und gaben ihm dann andere verschiedene Namen. Zuerst geschah dieses durch Dietz zu Emmerich, dessen rauh klingendes Instrument den Namen *Melodion* oder *Panmelodion* erhielt, ein anderes, welches ich gleichfalls bloſs gesehn und gehört habe, ohne dessen speciellen Namen zu kennen, brachte der bekannte Violinist Creuzer aus Italien. Dasselbe besteht aus messingnen tönenden Stäben, die der Streichwalze genähert werden, wonach ich vermuthe, daſs es durch Luigi Concone verfertigt worden ist, welchem Chladni [3] das Geheimniſs der Construction bereits 1811 mitgetheilt hatte. Die vollendetste Nach-

1 Ein anderes dem Euphon nachgebildetes Instrument, *Chalybonans* genannt, von Dietz zu Emmerich verfertigt, kenne ich bloſs dem Namen nach aus Chladni's eben genannter Schrift S. 160. Chladni hat sein Euphon später bedeutend verbessert, es scheint aber kein weiterer Gebrauch von dieser neuen Construction gemacht worden zu seyn. G. LXXV. 69.

2 Ueber die Bauart solcher Instrumente im Allgemeinen und die Beschaffenheit der einzelnen Theile handelt ausführlich Chladni in der genannten Schrift.

3 A. a. O. S. 120.

bildung ist durch Buschmann in seinem *Terpodion* zu Stande gebracht worden, welches in verschiedenen Ländern öffentlich gezeigt und dadurch sehr allgemein bekannt geworden ist, mit Ausnahme der verheimlichten innern Structur, indem der Künstler behauptet, die klingenden Stäbe seyen von Holz, woran ich jedoch zweifle, da ich mit Chladni der Meinung bin, daſs Holz minder klare Töne erzeugt und dem Einflusse der Temperatur und Feuchtigkeit zu sehr ausgesetzt ist. Der wegen seiner übrigen musikalischen Automaten berühmte Kaufmann aus Dresden wählte Saiten statt der Stäbe zur Erzeugung der Töne und nannte sein Instrument hiernach *Harmonichord*, machte jedoch aus dem Zwischenmittel, wodurch die Saiten vermittelst der Streichwalze zum Schwingen gebracht werden, ein Geheimniſs. Chladni hat in seinem genannten Werke alle Einzelheiten, die bei den verschiedenartigsten Constructionen desselben in Betrachtung kommen, ausführlich bekannt gemacht, so daſs jetzt deswegen kein Geheimniſs mehr obwaltet und es bloſs an dem Fleiſse und der Beharrlichkeit geübter Instrumentenmacher liegt, diesem vermuthlich noch bedeutender Verbesserungen fähigen Instrumente die nöthige Vollendung zu geben, um demselben einen höhern Rang unter den übrigen zu sichern, worauf es wegen der Stärke und Dauer der Töne, so wie durch das mögliche Schwellen derselben gegründete Ansprüche hat.

b) Instrumente mit tönender Luftsäule.

59) Ungleich zusammengesetzter und schwerer zu erkennen sind die verschiedenen Mechanismen, wodurch die Luftsäulen in tönende Schwingungen versetzt werden, und mitunter ist es sogar nicht leicht zu unterscheiden, unter welche Classe man die verschiedenen Vorrichtungen rechnen soll. Als einfachste Instrumente sind diejenigen zu betrachten, bei denen die in einem Rohre oder Gefäſse eingeschlossene ruhende Luftsäule durch einen schräg gegen die Mündung gerichteten stoſsenden Luftstrom in Schwingungen versetzt wird. Hierunter gehört jede an einem Ende verschlossene Röhre, gegen deren offenes Ende man mit dem Munde bläst, ein Schlüssel, ein Medicinglas u. s. w., als Instrument die Hirtenflöte, *Papagenoflöte*, die bereits den Alten bekannt war und ein Attribut des Pan ist, weswegen sie auch *Panflöte* heiſst. Merk-

würdig ist der Umstand, daſs diese Flöte auch in Peru bekannt war. Dr. Trail aus Liverpool zeigte nämlich bei der Versammlung der Naturforscher und Aerzte zu Hamburg im Jahre 1830 ein Exemplar dieses Instrumentes (*Syrinx*) vor, welches im Grabe eines Inka's gefunden worden ist und wovon ich einen Gypsabguſs besitze. Dasselbe besteht aus einem flachen Stücke Speckstein, in welches 8 Löcher gebohrt und oben 10 Lin. hoch zu ebensoviel Pfeifen gestaltet sind. Zwei kleine, seitwärts durch alle Röhren gehende Löcher geben die Quarten und Quinten der Töne an, auch läſst sich die Octave durch stärkeres Anblasen hervorbringen; auf der einen Fläche aber sind eingeschnittene peruanische Schriftzeichen.

Die in Röhren eingeschlossene ruhende Luftsäule wird leicht in Schwingungen versetzt, wie man daraus ersieht, daſs nach Weber[1] die gewöhnlichen vorhandenen Schallwellen dieses bewirken; denn wenn man eine Röhre von 1 Fuſs 3 Zoll Länge und 1,3 Z. Durchmesser aus Pappe gegen das Ohr stemmt, so hört man den leisen Ton a, hält man die andere Oeffnung mit der Hand zu, so hört man ā, und wenn man das offene Ende dem Ohre bloſs nähert, g i s. Die einfachste Construction hat die gemeine Pfeife, eine unten verschlossene oder offene Röhre, in welcher oben ein Cylinder sich befindet, wovon ein Theil nach der Längenaxe weggeschnitten ist. Unter demselben hat die Pfeife einen schräg laufenden Einschnitt, wodurch eine hinlänglich weite Oeffnung zum Entweichen der Luft und eine Schärfe gebildet wird, wogegen die Luft stöſst und zugleich bei ihrem wellenartigen Strömen die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Schwingen bringt, wobei die Höhe des Tones dem §. 39. angegebenen Gesetze gemäſs ist. Einen ähnlichen Bau haben diejenigen Orgelpfeifen, die zu den Labialpfeifen oder den sogenannten Flötenregistern gehören. Sie bestehn aus einer vierkantigen
Fig. 152. oder cylindrischen Röhre von der erforderlichen Länge d b, die oben offen oder gedeckt seyn kann, in welchem letzteren Falle sie gedackt und hiernach das ganze Register *Gedackt* genannt wird. Den Ton giebt die in ihr eingeschlossene Luftsäule, weswegen ihre Länge der Summe der zwischen den in ihrem Querschnitte gebildeten Wellen angemessen seyn muſs.

1 Wellenlehre S. 521.

Diese Röhre ist auf einem konischen Unterstücke, dem Fuſse, befestigt, vermittelst dessen sie in den Behälter gesteckt wird, aus welchem die Luft in ihre Mündung bei a nach Oeffnung derselben durch eine Klappe einströmt. Man nimmt an, daſs der Fuſs bei einer offenen Pfeife den achten und bei einer gedeckten den vierten Theil der Länge der obern Röhre haben müsse; denn das Mittel der gröſsten Höhe und Tiefe einer Welle fällt in den vierten Theil ihrer Länge (§. 38. c.), und wenn daher die im konischen Theile entstehenden Wellen denen in der Röhre correspondiren sollen und in der Mündung durch das Ausströmen der Luft eine Ausgleichung statt findet, wo es weder eine Erhöhung noch eine Vertiefung der Wellen oder für die Luft der Verdichtung und Verdünnung giebt, so muſs der Konus dem vierten Theile der Wellenlänge gleich seyn, die entweder bis in die Mitte oder an das Ende der Röhre reicht. Unter der Mündung bc ist der Konus durch eine Platte (den *Kern*) verschlossen, wovon ein Theil weggeschnitten ist, um eine enge Oeffnung darzustellen, aus welcher die eingeblasene Luft entweicht. Ebendaselbst ist die metallene Pfeife eingedrückt, so daſs zwei die Mündung begrenzende Lippen, jede das *Labium* genannt, eine obere und eine untere, entstehn, wo die ausströmende Luft von der unteren gegen die obere getrieben wird, um die in der Röhre eingeschlossene Luftsäule zum Vibriren zu bringen. Die Weite der Mündung ist wichtig; sie wird anfangs kleiner gemacht und so lange vergröſsert, bis der Ton von gehörig reinem Klange zum Vorschein kommt, auch ist die Breite derselben und die Neigung der Labien gegen einander nicht gleichgültig, das Material aber, woraus die Pfeife besteht, macht keinen wesentlichen Unterschied und ist nur insofern von Bedeutung, als der Körper selbst (nach Abschn. C.) in correspondirende Schwingungen versetzt wird. Man nimmt aus dieser Ursache gern Metall, was auch für die Unveränderlichkeit der Mündung vortheilhaft ist. Daſs die Luft nicht aus der Pfeife ströme, ersieht man an einer über d gehaltenen Lichtflamme.

60) Mit der Untersuchung der Töne, die durch Schwingungen der Luftsäule in Röhren entstehn, haben L. Euler[1]

1 Nov. Comm. Petrop. T. XVI. 1771.

und noch ausführlicher Dan. Bernoulli[1] sich beschäftigt, am ausführlichsten darüber handelt aber Biot[2], gestützt auf die Versuche, die er zur bessern Einsicht der Sache in Verbindung mit Hamel angestellt hat. Um zuerst den Einfluſs des stärkern Anblasens auf die Vermehrung der Schwingungsknoten zu ermitteln, versahen sie eine Glasröhre von 1 Z. Durchmesser und ungefähr 37 Z. Länge mit einem Konus von Blei, in welchem das eben beschriebene Mundloch befindlich war, setzten sie in ein Orgelwerk, dessen Blasebalg mit ungleichen Gewichten beschwert werden konnte, und verglichen die erhaltenen Töne mit den Pfeifen einer reingestimmten Orgel[3]. Nur durch ein unmerkliches Anblasen konnten sie den tiefsten Ton erhalten, welcher $\overline{g}$ war, und da dieser zu $\overline{c}$ in Verhältniſs von 3:2 steht, so muſs derselbe nebst allen andern mit $\frac{2}{3}$ multiplicirt werden, um die richtige Reihenfolge der Töne zu erhalten. Sie erhielten demnach

$$\overline{g} = \tfrac{3}{2} \cdot \tfrac{2}{3} = 1 \qquad \overline{\overline{\overline{\overline{d}}}} = 9 \cdot \tfrac{2}{3} = 6$$

$$\overline{\overline{g}} = 3 \cdot \tfrac{2}{3} = 2 \qquad \overline{\overline{\overline{\overline{f}}}}- = \tfrac{32}{3} \cdot \tfrac{2}{3} = 7\tfrac{1}{9}-$$

$$\overline{\overline{\overline{d}}} = \tfrac{9}{2} \cdot \tfrac{2}{3} = 3 \qquad \overline{\overline{\overline{\overline{g}}}} = 12 \cdot \tfrac{2}{3} = 8$$

$$\overline{\overline{\overline{g}}} = 6 \cdot \tfrac{2}{3} = 4 \qquad \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}} = 16 \cdot \tfrac{2}{3} = 10\tfrac{2}{3}$$

$$\overline{\overline{\overline{h}}} = \tfrac{15}{2} \cdot \tfrac{2}{3} = 5 \qquad \overline{\overline{\overline{\overline{\overline{d}}}}} = 18 \cdot \tfrac{2}{3} = 12$$

Diese Töne folgen in einer arithmetischen Reihe, und es geht hieraus hervor, welchen groſsen Einfluſs die Stärke des Anblasens der Instrumente hat, wodurch auf manchen, z.B. dem Horn, der Trompete u. s. w., die verschiedenen Töne erzeugt

1 Mém. de l'Acad. de Paris. 1762.

2 Traité T. II. p. 110 ff.

3 Für die Demonstration und Versinnlichung der einfachsten Gesetze genügt es, von einem Orgelbauer eine hölzerne Flötenpfeife verfertigen zu lassen. Diese geben meistens mit schwachem Anblasen den Grundton und durch Halbirung der Wellenlängen die Octave und die Doppeloctave, was man das Ueberblasen derselben nennt. Die ganze Reihenfolge der im Text angegebenen Töne zu erhalten ist jedoch sehr schwierig.

werden. Biot erwähnt hierbei, daſs der durch 7 ausgedrückte Ton von den Horn- oder Trompetenbläsern nicht hervorgebracht werden kann, was schon Dan. Bernoulli bemerkt und daraus erklärt hat, daſs die diesem Tone zugehörige Abtheilung der schwingenden Luftsäule nicht füglich zu erhalten sey; Biot ist jedoch der Meinung, daſs die Ursache auf einem andern Umstande beruhe, nämlich darauf, daſs dieser Ton in der Tonleiter nicht vorkommt und daher die Künstler nicht lernen, diejenige eigenthümliche Stärke des Blasens anzuwenden, die demselben zugehört. Inzwischen gesteht Biot zu, daſs die zu diesem Tone erforderlichen Vibrationsmengen zu den übrigen nicht in sehr einfachem Verhältnisse stehn, und sie muſsten bei den Versuchen mit der Hand nachhelfen, um der Luft in der Mündung die erforderliche Richtung zu geben. Wenn man also theoretisch untersucht, welche Abtheilungen die in einer Pfeife eingeschlossene Luftsäule erhalten kann und welche Töne diesen zugehören, so giebt dieses folgende Resultate.

1	=	$\underline{C}$	13	=	$\overline{as}$ +	25	=	$\overline{\overline{gis}}$
2	=	C	14	=	$\overline{ais}$ +	26	=	$\overline{\overline{as}}$ +
3	=	G	15	=	h	27	=	$\overline{\overline{a}}$ —
4	=	c	16	=	$\overline{\overline{c}}$	28	=	$\overline{\overline{ais}}$ +
5	=	e	17	=	$\overline{\overline{des}}$ —	29	=	$\overline{\overline{b}}$ +
6	=	g	18	=	$\overline{\overline{d}}$	30	=	$\overline{\overline{h}}$
7	=	ais +	19	=	$\overline{\overline{es}}$ —	31	=	$\overline{\overline{\overline{ces}}}$ +
8	=	$\overline{c}$	20	=	$\overline{\overline{e}}$	32	=	$\overline{\overline{\overline{c}}}$
9	=	$\overline{d}$	21	=	$\overline{\overline{f}}$ —	33	=	$\overline{\overline{\overline{cis}}}$ —
10	=	$\overline{e}$	22	=	$\overline{\overline{fis}}$ —	34	=	$\overline{\overline{\overline{des}}}$ —
11	=	$\overline{fis}$ —	23	=	$\overline{\overline{ges}}$ —	35	=	$\overline{\overline{\overline{des}}}$ +
12	=	$\overline{g}$	24	=	$\overline{\overline{g}}$	36	=	$\overline{\overline{d}}$.

Aus dieser Uebersicht folgt, daſs auf dem Horne und ähnlichen Instrumenten die Zahl der möglichen Töne in der Tiefe geringer ist, mit der Höhe dagegen so zunimmt, daſs sogar die geometrische Reihe derselben hervorgebracht werden kann. Hierzu kommt dann noch das Mittel, die untere Oeffnung mit der Hand oder einem Stopfer ganz oder zum Theil zu verstopfen und dadurch die Länge der schwingenden Luftsäule und den Wechsel ihrer verschiedenen Abtheilungen zu bedingen. Inzwischen bemerkt Biot mit Recht, daſs es eine ausgezeichnete Uebung erfordert, die Stärke und eigenthümliche Art des Blasens hinlänglich zu modificiren, um alle diese verschiedenen Töne hervorzubringen, was gemeine Künstler nicht vermögen.

Ein zweiter Gegenstand der Untersuchung ist die Weite der Oeffnung, wenn zugleich kein Theil der Röhre verschlossen ist. Um hierüber Aufklärung zu erhalten, was wegen der Schwäche der erzeugten Töne schwierig ist, nahm Dan. Bernoulli eine am einen Ende verschlossene Röhre von 4 Zoll Länge, blies aus einiger Entfernung hinein und erhielt genau $\overline{\overline{\overline{g}}}$ der Orgeln, bei denen eine 4 Fuſs lange Pfeife c giebt. Blies er aus der Nähe in die Röhre, wodurch ein Theil der Oeffnung verschlossen wurde, so entstand ein um eine kleine Tertie tieferer Ton, oder derselbe wurde um $\frac{5}{6}$ tiefer, bei längeren Röhren verminderte sich dieser Unterschied und verschwand bei sehr langen gänzlich. Um aber mit Genauigkeit auszumitteln, welchen Einfluſs die Mündung auf den Ton habe und wohin man den Anfang der Schwingungen setzen müsse, machte Bernoulli[1] Versuche mit Röhren von verschiedener Länge, gab ihnen eine gleiche Embouchüre von der Art, wie oben beschrieben worden ist, deren Weite $\frac{1}{6}$ derjenigen der Röhre betrug, wonach also $\frac{5}{6}$ der letzteren als verschlossen zu betrachten sind, und machte den Ton, welchen die bis zu einem aliquoten Theile vermittelst eines hineingeschobenen Stopfers verschlossene Pfeife gab, demjenigen gleich, welcher der ganz offenen zugehörte. Indem nämlich eine offene Röhre in der Mitte einen Schwingungsknoten erhält, welcher durch das Verschlieſsen der äuſseren Oeffnung wegfällt,

1 Nach der Darstellung von Biot in Traité. T. II. p. 132 ff.

Digitized by Google

so müſste sie bis zur Mitte verstopft den nämlichen Ton, als ganz offen, geben, wenn die Schwingungen bei der Embouchüre selbst anfingen und das Hineintreten dieses Anfangspunctes der Oscillationen in das Innere der Röhre nicht statt fande. Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Resultate. Die erste Columne enthält den Ton, den die *ganz* offene Pfeife gab, die zweite ihre Länge in Linien von der Mitte der Embouchüre an gemessen, die dritte die *Tiefe*, bis zu welcher man den Stopfer hineinschieben muſste, um den ursprünglichen Ton wieder zu erhalten und ihn also bis zum mittleren Schwingungsknoten zu bringen, die vierte enthält den Rest der Länge, also vom Schwingungsknoten bis zur Embouchüre, die fünfte giebt das Verhältniſs beider Längen, die sechste endlich das Tonverhältniſs beider Theile.

Ursprünglicher Ton [1].	Länge der Röhre in Lin.	Abstand des Schwingungsknotens vom Ende	Abstand des Schwingungsknotens von d. Embouch.	Verhältniſs d. Längen	Vertiefung des Tones des offenen Endes.
c	137,0	72,0	65,0	$\frac{65}{72} = \frac{9{,}02}{10}$	von e zu d kl. Secunde
d	121,0	64,0	57,0	$\frac{57}{64} = \frac{8{,}91}{10}$	— e zu d kl. Secunde
e	107,6	57,6	50,0	$\frac{50}{57{,}6} = \frac{7{,}81}{9}$	— d zu c gr. Sec.
f	100,0	54,0	46,0	$\frac{46}{54} = \frac{5{,}11}{6}$	— es zu c kl. Tertie
g	88,0	48,0	40,0	$\frac{40}{48} = \frac{5{,}00}{6}$	— es zu c kl. Tertie
a	76,6	42,6	34,0	$\frac{34}{42{,}6} = \frac{3{,}99}{5}$	— e zu c gr. Tertie
h	67,8	38,8	29,0	$\frac{29}{38{,}8} = \frac{2{,}99}{4}$	— f zu c Quarte
$\bar{c}$	62,0	36,0	26,0	$\frac{26}{36} = \frac{18{,}06}{25}$	— fis zu c übern. Quarte
$\bar{d}$	53,0	32,0	21,0	$\frac{21}{32} = \frac{1{,}97}{3}$	von g zu c Quinte
$\bar{e}$	45,8	28,8	17,0	$\frac{17}{28{,}8} = \frac{2{,}95}{5}$	— a zu c gr. Sexte
$\bar{f}$	42,0	27,0	15,0	$\frac{15}{27} = \frac{69{,}44}{125}$	— his zu c überm. Sexte
$\bar{g}$	36,0	24,0	12,0	$\frac{12}{24} = \frac{1}{2}$	von $\bar{c}$ zu c Octave
$\bar{a}$	31,3	21,3	10,0	$\frac{10}{21{,}3} = \frac{11{,}73}{25}$	— $\overline{cis}$ zu c kl. None
$\bar{h}$	27,2	19,2	8,0	$\frac{8}{19{,}2} = \frac{2{,}08}{5}$	— $\bar{d}$ zu c De Decime
$\bar{\bar{c}}$	25,0	18,0	7,0	$\frac{7}{18} = \frac{3{,}11}{8}$	— $\bar{f}$ zu c Undecime

Die in der dritten Columne enthaltenen Zahlen stehn in genauesten Verhältnisse mit den erzeugten Tönen, wie sie schon auf den ersten Blick aus den Zahlen 18, 36, 72 e

1 Die Töne beginnen mit viergestrichen c. Um die vielen Striche zu vermeiden, habe ich vier Striche weggelassen und mit den Anfang gemacht.

Digitized by Google

giebt; auch sieht man, daſs bei den längern Röhren der Einfluſs der Embouchüre gänzlich verschwindet. Biot hat eine Gleichung zwischen den Zahlen der dritten und vierten Columne aufgesucht und gefunden, daſs schon die der geraden Linie fast vollkommen genügt, mehr aber die einer Hyperbel der zweiten Ordnung. Die Aufgabe ist leicht, klärt jedoch das Problem der Schallschwingungen nicht auf, und ich lasse es also bei einer bloſsen Angabe der Sache bewenden. Wichtiger sind die Resultate der Versuche, die Biot und Hamel über den Einfluſs ungleich weiter Embouchüren angestellt haben. Sie bedienten sich hierzu einer 4 F. langen hölzernen Pfeife, von quadratischem Querschnitte, dessen Seite 4 Z. betrug, am einen Ende verschlossen; die Oeffnung hatte die Breite der ganzen Seite und konnte durch das Herabdrücken eines Schiebers über der obern Lippe der Pfeifenmündung mehr verengt werden. Als Maſs der Verengerung dient die Bestimmung, daſs 66,6 Theile derselben einen Quadratzoll ausmachen. Die Versuche gaben folgende correspondirende Werthe.

Erzeugte Töne.	Verhältniſs derselben.	Gröſse der Oeffnung.
c	1	66,00
$\bar{g}$	3	36,50
$\bar{\bar{e}}$	5	26,00
$\bar{\bar{h}}$	7	20,50
$\bar{\bar{\bar{d}}}$	9	16,50
$\bar{\bar{\bar{f}}}$	11	14,00
⋮	⋮	⋮
$\bar{\bar{\bar{\bar{\bar{f}}}}}$	43	3,80

Die Uebersicht ergiebt, daſs keiner der erhaltenen Töne den geraden Zahlen zugehört, auch war es ganz unmöglich, durch irgend eine Veränderung des Mundloches die Octave zu erzeugen, was der Theorie durchaus angemessen ist.

Digitized by Google

60) Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich insgesammt auf cylindrische oder überall gleich weite Pfeifen. Daniel Bernoulli und L. Euler[1] haben ihre gründlichen Forschungen auch auf konische und hyperbolisch gestaltete ausgedehnt, die Resultate führen aber auf die nämlichen allgemeinen Gesetze, als die bisher erörterten, und können daher hier übergangen werden. Einige Aufmerksamkeit verdienen aber noch die Schwingungen der Luftsäulen in Pfeifen, die Oeffnungen in ihrer Seite haben. Biot[2] wählte zur Demonstration die Traver-Flöte, eine Röhre, die alsdann tönt, wenn die in ihr eingeschlossene Luftsäule durch das schräge Blasen gegen den scharfen Rand des Mundloches (*Embouchure*) in Schwingungen versetzt wird. Ohne Rücksicht auf die andern vorhandenen Löcher, oder wenn diese verschlossen sind, ist dieselbe als eine an beiden Enden offene Röhre zu betrachten und giebt daher, wenn die Löcher insgesammt verschlossen werden, den Grundton. Aus dem Vorhergehenden folgt, daſs die Weite des Mundloches für den Ton nicht ohne Einfluſs ist, vielmehr wird das Instrument mit vermehrter Weite tiefer. Um den Einfluſs der Seitenlöcher aufzufinden, verfertigten Biot und Hamel ein pappenes Rohr von etwa 1 F. Länge und 1 Z. Durchmesser, versahen es mit einem bleiernen Fuſse, wie eine Orgelpfeife, und erhielten durch Anblasen den Grundton. Darauf bohrten sie in der Mitte des Rohrs ein kleines Loch und fanden, daſs hierdurch der Ton um eine groſse Secunde erhöht worden war, denn bei gleich starkem Anblasen ward d statt c gehört. Sie erweiterten darauf die Oeffnung nach dem Umkreise hin, ohne Vermehrung der Höhe in der Richtung der Axe, und erhielten allmälig die vollständige Reihe der sogenannten ganzen Töne, ja sie hätten durch Anwendung gröſserer Sorgfalt auch die halben erzeugen können. Biot findet dieses der Theorie durchaus angemessen. Eine an beiden Enden offene Röhre hat nämlich einen Schwingungsknoten in der Mitte; auf diesen übt das Loch bei zunehmender Gröſse einen Einfluſs aus, bis es so groſs wird, daſs die Luft frei durch die Oeffnung communicirt und also die Octave zum Vorschein kommt, die zwischen beiden liegenden

---

1 An den a. Orten.
2 Traité. T. II. p. 163.

Töne hängen aber von der Weite der Oeffnung auf gleiche Weise ab, als durch die letzten Versuche im vorigen §. ausgemittelt worden ist. Man sieht hieraus also, daſs die Entfernung der Löcher vom Ende oder von der Embouchüre und die Gröſse derselben einen Einfluſs auf die Höhe des Tones haben muſs und daſs dieser eine Modification erleiden müsse, wenn man das Loch allmälig mit dem Finger verschlieſst. Die Biegungen und Krümmungen der Instrumente sind von keinem Einflusse und dienen bloſs dazu, sie bequemer zum Handhaben darzustellen, denn die Schwingungen einer gekrümmten Luftsäule sind denen einer geraden völlig gleich; die Dicke der Luftsäule ist gleichfalls von keinem sehr wesentlichen Einflusse auf die Höhe, so lange die Röhre cylindrisch ist, jedoch macht sie den Ton stärker, weswegen zu den tiefen Tönen der Orgel dicke Pfeifen erfordert werden, die konische Form wird aber dann bedeutend, wenn sie die Röhre einer weitern mit einem engern Ansatze ähnlich macht. Inzwischen muſs man nach Weber[1] die Pfeifen der Flötenwerke etwas verkürzen, wenn sie bei vermehrter Weite den nämlichen Ton geben sollen.

61) Die bedeutendste Classe von Pfeifen machen die mit *Zungen* versehenen aus, wozu auch die *Rohrwerkzeuge* gehören. Zwischen diesen und den abgehandelten Flötenwerken liegen diejenigen ungefähr in der Mitte, die mit einem Mundstücke geblasen werden, als das *Horn* (wozu auch das Posthorn gehört), die *Trompete*, die *Posaune* und das *Serpent*. Das Mundstück besteht aus einem metallenen abgestumpften Kegel, welcher auf das Instrument gesteckt wird, in seiner Axe mit einem engen Loche durchbohrt, am obern Ende aber ungefähr halbkugelförmig ausgehöhlt und mit einem etwas breiten Rande versehn ist. Gegen diesen werden die Lippen gedrückt und der durch eine in ihrer Mitte befindliche Oeffnung gepreſste Luftstrom setzt die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen. Nach meiner Ansicht gerathen hierbei die Lippen selbst in Vibrationen, die sich der ausströmenden Luft mittheilen und dadurch diejenigen bedingen, die in dem Instrumente entstehn, wonach diese also den Rohrwerkzeugen mindestens nahe kämen. Uebrigens kom-

1 Wellenlehre S. 525.

Digitized by Google

men bei ihrem Baue und den durch sie erhaltenen Tönen die allgemeinen Gesetze der Luftschwingungen in Röhren zur Anwendung.

Die *Rohrwerkzeuge* und *Zungenpfeifen* lassen sich insgesammt in zwei Hauptclassen theilen, nämlich mit aufliegenden und mit einschlagenden vibrirenden Blechen. Unter die erste Classe gehören zuerst diejenigen Rohrinstrumente, bei denen zwei elastische Blätter von hartem, durch starke Längenfibern ausgezeichneten Holze einander gegenüberstehn, in der Mitte etwas ausgebogen sind und eine feine Oeffnung zwischen sich lassen, durch welche die Luft beim Anblasen dringt und die im Instrumente eingeschlossene Luftsäule in Schwingungen versetzt. Daſs sie dabei selbst vibriren, also die Erzeugung des Tones keineswegs allein in Folge des Einströmens der Luft durch die feine Oeffnung statt finde, geht daraus hervor, daſs eine gleichgestaltete feine Oeffnung in einem harten Körper zur Erzeugung eines Tones nicht genügt, auch die Blätter eine gewisse eigenthümliche Elasticität haben müssen, die schon dann wegfällt, wenn sie trocken sind, auch fühlt man deutlich die Bebungen zwischen den Lippen. Der Ton ist nur dann rein und wohlklingend, wenn die Fibern dieser Blättchen eine durchaus gleichmäſsige und hinlängliche Elasticität haben, nach oben im gehörigen Verhältnisse dünner werden und an den Enden gerade abgeschnitten sind. Hierunter gehören die *Hoboë* und das *Fagott*. Verschieden hiervon ist die *Clarinette*, bei welcher ein Schnabel von sehr hartem (Eben-) Holze eine auf einem feinen Schleifsteine sehr eben geschliffene flache Bahn erhält, auf welcher das Blatt von spanischem Rohre mit seiner gleichfalls eben geschliffenen Bahn so aufgebunden oder unter einem metallenen Ringe festgeschraubt wird, daſs sein wenig abstehendes Ende mit der Spitze des Schnabels eine feine Oeffnung läſst. Die verschiedenen Töne werden bei allen dreien dadurch hervorgebracht, daſs die Lippen beim schwächern oder stärkern Einblasen der Luft die Blätter mehr oder weniger andrücken, wobei man fühlt, daſs sie vibriren und ein bloſses Einströmen der Luft zur Erzeugung des Tones nicht genügt.

Ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei allen übrigen vibrirenden Blättchen, die nicht zwischen den Lippen oder im Munde gehalten werden, sondern den Luftstrom aus einem

Windkasten erhalten. Zu unbedeutend, um eine nähere Beschreibung zu verdienen, sind die Kinder-Instrumente, Trompeten, Posthörner u. dgl., in denen ein dünnes Metallblech vibrirt und einen blarrenden, widrigen Ton giebt, die Hormeln oder Blarrpfeifen, die dem *Sennenhorne* ähnlich von den Kindern im Frühlinge aus frischem Baste geflochten und mit einem Bastrohre, ähnlich dem des Fagotts, versehn werden, die kleinen Pfeifen aus Schilfrohr, bei denen durch Wegschneiden eines Theils der harten Holzsubstanz an einer Seite ein Theil der feinen innern Haut entblöſst wird und durch die durchströmende Luft zittert. Bei allen diesen Instrumenten können die Vibrationen nicht gleichmäſsig seyn und daher auch keine reinen, wohlklingenden Töne gebildet werden.

Die Zungenstücke haben so ziemlich die nämliche Gestalt, die Zungen mögen aufliegende oder einschlagende seyn. Die Mundstücke der erstern bestehn aus einem metallenen, meistens aus Kupfer verfertigten, oben gekrümmten, zur Hälfte aufgeschnittenen Cylinder R, auf dessen ebener Fläche die Fig.
Zunge L, wie das Blatt auf dem Schnabel der Clarinette, so 153.
aufliegt, daſs sein Ende ein wenig absteht. Diese Röhre wird oben durch die Fassung TT des untern Theiles der Pfeife, des Mundstücks TTVV, herabgesteckt, welches luftdicht verschlossen mit seinem untern, konisch zulaufenden Ende, dem Kegel, in die Windlade paſst, so daſs also nach dem Oeffnen einer Klappe die comprimirte Luft in die Oeffnung S eindringt und durch die Ritze zwischen der Röhre und der Zunge entweicht. Hierdurch geräth die letztere in Schwingungen und theilt diese der eingeschlossenen Luftsäule mit oder diese muſs vielmehr durch das stets wiederkehrende Verschlossenwerden der Röhre selbstständig vibriren und also einen Ton geben. Um den Abstand der Zunge von der Röhre und ihre Elasticität gehörig zu modificiren, damit der erforderliche Ton zum Vorschein komme, dient die Krücke, der starke federnde Draht Ff, welcher gegen sie drückt und verschiebbar ist, um ihn mit dem untern gebogenen Theile an der gehörigen Stelle gegen die Zunge drücken zu lassen, wobei im Allgemeinen der Ton höher wird, je tiefer man die Krücke herabdrückt. Hierbei steigt der Ton jedoch keineswegs den Quadraten der Länge umgekehrt proportional, wie Biot[1] aufge-

1 Traité T. II. p. 167.

funden hat, welcher hieraus folgert, daſs die Vibrationen der Zunge nicht einzig und unmittelbar die Höhe des Tones bedingen. Derselbe will auch gefunden haben, daſs die Zunge sich eigenthümlich biegen und dadurch einen veränderten Ton geben könne, was auch dann geschieht, wenn man das Rohr, die Pfeife, die man auf das Stück T T aufsteckt, um den Ton zu verstärken und klingender zu machen, plötzlich mit der Hand verschlieſst. Daſs die hierdurch entstehende Verlängerung der schwingenden Luftsäule auf den erzeugten Ton einen sehr bedeutenden Einfluſs habe, unterliegt keinem Zweifel, indem hierdurch auf gleiche Weise ein eigentliches Instrument gebildet wird, als durch das Aufstecken des Kopfstücks auf die Clarinette. Dann aber kommt die mehrfach erörterte Frage in Betrachtung, ob die von ihrer Elasticität abhängenden Schwingungen der Zunge, oder die Vibrationen der Luftsäule in der Pfeife, die durch deren Länge bedingt werden, als die Höhe des Tones bestimmend zu betrachten sind. Biot entscheidet für das Letztere, weil das Blech nur einen sehr schwachen und unvollkommenen Ton gebe; gründlich ist diese Aufgabe aber durch Weber in Beziehung auf die einschlagenden Zungen untersucht worden, wie sogleich erwähnt werden soll; es läſst sich aber als ausgemacht ansehn, daſs beide Arten von Mundstücken den nämlichen Gesetzen unterliegen, und demnach kann diese Frage hier übergangen werden. Biot und Hamel bedienten sich einer gläsernen Röhre, um das Spiel der Zunge zu beobachten, und erhielten dann den tiefsten Ton, wenn die Zunge ganz frei schwebte, der Ton wurde höher, wenn man die Krücke tiefer herabdrückte, doch hörte der Ton bei gewissen Stellungen derselben ganz auf, wovon die Ursache darin lag, daſs die Zunge zwar vibrirte, aber nicht auf die Bahn der Röhre schlug, also die Oeffnung nicht ganz verschloſs.

Die Töne der Zungenpfeifen sind stark und hellklingend, aber sie sind zugleich oft rauh und scharf. Hamel versuchte daher, die Bahn der Rinne, worauf die Zunge liegt, mit Leder zu überziehn, dieses fest aufzukleben und auf der Oberfläche mit Bimstein zu ebnen, wodurch dann der Ton weicher wurde. Auch die Gestalt der Pfeifen hat auf den Ton einen bedeutenden Einfluſs. Am hellsten wird derselbe, wenn die Pfeifen eine konische Erweiterung nach oben erhalten, laufen

Digitized by Google

sie umgekehrt verjüngt zu, so wird der Ton dumpf und unangenehm, runder und wohlklingender wird er dagegen, wenn die Pfeife oben in einen vereinten doppelten Kegel endet. Den Fig. 154.
Grund hiervon kann nach Biot die Theorie nicht auffinden; die Erscheinung steht indeſs im Zusammenhange mit dem vielfach bestätigten Erfahrungssatze, daſs die Schallwellen in allen hohlen, namentlich auch kugelförmigen Räumen eine eigenthümliche Modification theils der Verstärkung, theils der Milderung ihrer Schärfe erhalten.

Die Zungenpfeifen werden auch bei denjenigen Registern gebraucht, die die menschliche Stimme (*Vox humana*) nachmachen. Hierbei findet die Eigenthümlichkeit statt, daſs die hierzu dienenden Pfeifen fast alle von gleicher Länge sind, die Tiefe der Töne aber durch die Länge, Breite und abnehmende Steifheit der Zunge bedingt wird. Die Pfeifen sind so eingerichtet, daſs auſser dem Kegel, welcher den Wind zuführt, ihre Länge derjenigen der Zunge gleich ist, oben aber wer- Fig. 155.
den sie mit einem konischen Stücke versehn und mit einer Halbkugel gedeckt, in deren Mitte sich ein mäſsig groſses rundes Loch befindet. Sie geben leicht einen näselnden Ton, den man durch zwei seitwärts angebrachte Löcher beseitigen wollte, in der falschen Voraussetzung, daſs der Ton der Stimme auch durch den Nasencanal gebildet werden müsse, wovon gerade das Gegentheil statt findet. Weit angenehmer wird der Ton durch die nicht aufliegenden, sondern einschlagenden Zungen. Bei beiden können Töne nur bis zu einer gewissen Tiefe erzeugt werden, und wenn man über diese noch hinausgehn will, so müssen die Röhren, worin sich das Zungenstück befindet, verlängert werden, wie Grenié[1] aufgefunden und dadurch selbst das 8fuſsige C der Orgel nachgebildet hat.

62) Die bisher beschriebenen Zungen sind solche, die auf der Bahn des Röhrchens aufliegen; man hat aber auch solche, die genau in die Oeffnung des Röhrchens passen und beim Vibriren bald in dieselbe eintreten und als genau passend diese fast gänzlich verschlieſsen, bald herausgebogen werden und die Luft frei eindringen lassen. In diesem Falle ist ein metallnes Parallelepipedum R oder auch ein nicht ganz Fig. 156.

1 Nach Biot Traité. II. 173.

bis zur Hälfte nach der Längenaxe weggeschnittener Cylinder am untern Ende verschlossen und hat in dem den weggeschnittenen Theil wieder bedeckenden Bleche einen rectangulären länglichen Einschnitt mit genau eben gearbeiteten Rändern, in dessen inneren Raum eine gehärtete, messingene Feder so accurat paſst, daſs die Luft gar nicht oder mindestens nur wenig neben ihr durchdringen kann. Nach Biot sind solche einschlagende Zungen hauptsächlich neuerdings durch Grenié verfertigt worden, welcher ein Patent auf die mit solchen Pfeifen versehenen Orgeln erhalten hat, man kennt sie jedoch schon länger, und wenn sie nicht schon früher bekannt waren, so sind sie durch Kratzenstein[1] im Jahre 1780 erfunden und genau beschrieben worden. Vor einigen Jahren erregten sie aber aufs neue die Aufmerksamkeit des Publicums durch ihre Anwendung zur Construction der sogenannten *Mundharmonica*, die seitdem ein gewöhnliches Spielwerk geworden ist. Sie besteht aus einer Metallplatte von etwa 0,5 bis 0,75 Lin. Dicke, in welche längliche rectangulär gestaltete Löcher eingeschnitten sind. In diese Oeffnungen, deren selten eine, öfter vier zur Bildung des harmonischen Dreiklangs, aber auch 6 oder 8 vorhanden sind, passen genau durch Hämmern gehärtete und demnach leicht vibrirende dünne Messingbleche, die am einen etwas dickeren Ende sehr fest aufgelöthet und genietet sind und mit der einen Seite der Metallplatten in eine Ebene fallen oder nur unmerklich über diese hervorragen, so daſs sie im Zustande der Ruhe die Oeffnungen völlig verschlieſsen, ohne mit ihren Rändern die der Einschnitte in die Metallplatte eigentlich zu berühren. Bläst man gegen die Bleche mit aufgedrückten Lippen, oder zieht man die Luft ein, so fangen sie an zu schwingen, und es erfolgt ein so lauter vernehmlicher Ton, daſs dessen Ursache nicht in den Vibrationen des Bleches gesucht werden kann, sondern nothwendig in denen der durchströmenden Luft liegen muſs.

Die Töne dieser Pfeifen mit einschlagenden Zungen sind durch W. Weber[2] einer speciellen Untersuchung unterworfen

1 Acta Acad. Petrop. 1780. Journ. de Phys. T. XXI. p. 358.

2 Leges oscillationis oriundae si duo corpora diversa celeritate oscillantia ita conjunguntur, ut oscillare non possint, nisi simul et synchronice. Dissert. phys. auct. Weber Halae 1826. 4. Schon früher ic

worden. Tönt die auf der Röhre unbeweglich befestigte Zunge allein, ohne daſs sie in eine den Ton bedingende Röhre geschoben ist, auf ähnliche Weise als bei der Mundharmonica, so ist es nicht nothwendig, daſs die Zunge völlig genau in die Oeffnung der Metallplatte passe, wenn sie nur durch den Luftstrom in die ihrer Länge, Breite, Dicke und Elasticität proportionalen[1] Schwingungen versetzt wird. Hiervon hängt denn auch die Höhe des Tones ab, denn wenn man mit einer feinen Messerspitze das Ende der Zunge aufhebt und losschnellen läſst, so hört man einen leisen Ton, welcher jedoch hinsichtlich der Höhe mit demjenigen identisch ist, den man beim Durchströmen der Luft wahrnimmt. Da dieses allezeit erfolgt, so läſst sich hiernach also leicht als Regel ansehn, daſs die Tonhöhe in diesen Fällen ausschlieſslich durch die Schwingungen der Zunge bedingt werde, daſs die hierdurch erzeugten Luftwellen aber, deren Längen der bereits durch die Beschaffenheit der Zunge bestimmten Tonhöhe proportional sind, bloſs dazu dienen, den Ton heller und wohlklingender zu machen. Wenn man also nicht annimmt, daſs der erzeugte Ton bloſs durch die Stöſse der Luft, wie bei der *Sirene*, entstehe, vielmehr Schwingungsknoten in der Luft gebildet werden, die der tönenden Luftsäule zugehören, so muſs einer derselben auſserhalb der Zunge in der freien Luft liegen. Unter der hinlänglich begründeten Voraussetzung, daſs die Töne der Sirene bloſs durch die Pulsus der im Ausströmen regelmäſsig periodisch unterbrochenen Flüssigkeit entstehn, scheint mir die letztere Annahme auch aus dem Grunde die wahrscheinlichere, weil der Ton der Sirene von dem der Mundharmonica merklich verschieden ist. Eine Hauptschwierigkeit erhebt sich aber dann, wenn das Zungeninstrument mit einer Pfeife durch Einstecken in dieselbe verbunden wird, was den erzeugten Ton ungleich wohlklingender macht, dann aber die Beantwortung der Frage fordert, auf welche Weise zwei verschiedenen Gesetzen ihrer Schwingungen unterliegende, also einzeln verschiedene Tonhöhen gebende Kör-

---

hierüber gehandelt worden in Wellenlehre S. 522. Weitere Untersuchungen von demselben über diesen Gegenstand findet man in Poggendorff's Ann. XVI. 193. 415. XVII. 193.

1 Vergl. L. Euler Acta Petrop. 1779. T. I. p. 139.

Digitized by Google

per, wenn sie mit einander verbunden sind, sich gegenseitig so bedingen, daſs sie gemeinschaftlich den nämlichen Ton geben.

W. Weber[1] hat diese Aufgabe ausführlich untersucht und gestützt auf eine schätzbare Reihe von Erfahrungen eine vollständige Theorie dieser Erscheinungen aufgestellt, wovon hier nur die wesentlichsten Elemente mitzutheilen sind. Das Zungeninstrument kann auf zweifache Weise mit der Pfeife verbunden seyn, zuerst wenn die Zunge sich innerhalb und zweitens wenn sie sich auſserhalb der Röhre befindet, wie die
Fig. 157. u. 158. Zeichnung dieses anschaulich macht. Die Zunge kann bei jeder dieser beiden Verbindungsarten auf zweifache Weise zum Vibriren gebracht werden, nämlich entweder indem die an ihrer Auſsenseite befindliche Luft verdichtet ist, die an ihrer Innenseite aber atmosphärische Dichtigkeit beibehält, oder indem die erstere von gewöhnlicher Dichtigkeit ist, die letztere aber verdünnt wird. Ferner können die auf solche Weise mit dem Zungeninstrumente verbundenen Pfeifen entweder am andern Ende offene oder bedeckte seyn, ein Unterschied, welcher jedoch unberücksichtigt bleiben darf, indem in der Regel offene zur Anwendung kommen und daher hier nur untersucht werden. Sind also auf irgend eine der angegebenen Arten ein Zungeninstrument und eine Röhre mit einander verbunden, so treten wieder zwei Fälle ein, nämlich daſs entweder die Töne, die durch die Vibrationen der Zunge erzeugt werden, denen gleich sind, welche die in der Pfeife eingeschlossene Luftsäule für sich schwingend geben würde, oder daſs beide verschieden sind. Der erstere Fall hat gar keine Schwierigkeiten, denn es folgt alsdann von selbst, daſs die synchronischen Schwingungen beider den ihnen zugehörigen Ton gemeinschaftlich erzeugen; im zweiten Falle aber, nämlich wenn die in dem Rohre der Pfeife eingeschlossene Luftsäule in Folge ihrer Länge einen andern Ton geben würde, als welcher den Schwingungen der Zunge zugehört, gehn aus den Versuchen folgende Gesetze rücksichtlich der Tonhöhe beider zu einer Zungenpfeife verbundener tönender Körper hervor: wenn die äuſsere Luft dichter ist, als die im

1 Auſser der genannten Dissertation in Poggendorff's Annalen XVI. 193 ff. 415 ff. XVII. 193.

Digitized by Google

Röhrchen eingeschlossene, so kann der Ton nur tiefer werden, als derjenige, welchen die vibrirende Zunge allein giebt, ist aber die äuſsere Luft dünner, als die innere, so kann der gemeinschaftliche Ton nur höher werden. Hieraus folgt, was auch weiter fortgesetzte Untersuchungen bestätigen, daſs unter allen Bedingungen Isochronismus beider schwingender Körper statt finden müsse, weil sonst ein doppelter Ton entstehn würde, daſs also zunächst die Schwingungen der Luftsäule durch die Vibrationen der Zunge bedingt werden, wie aus dem Klange des einer schwingenden Luftsäule zugehörigen Tones unwidersprechlich folgt, zugleich aber die Vibrationen der Zunge durch die Länge der Luftsäule eine Modification erleiden, vermöge deren sie nicht bloſs schneller, sondern auch langsamer vibriren, als sie frei schwingend thun würden. Aus den Versuchen, welche Weber anstellte, um das Verhältniſs der Tonhöhen zu den Längen der schwingenden Luftsäulen bei Zungenpfeifen aufzufinden, geht hervor, daſs für a = 0,25-nal der Länge einer Luftsäule, die für sich allein in einer an beiden Enden offenen Röhre mit einer gegebenen Zunge isochronisch schwingt, folgende Veränderungen eintreten.

1) Wenn die angesetzte Röhre allmälig bis zu a verlängert wird, so nimmt die Tiefe des erzeugten Tones nur unmerklich zu.

2) Wächst die Länge der Pfeife von a bis 2a, so wird er Ton zwar merklich tiefer, aber nicht im gleichen Verhältnisse, als die Länge der schwingenden Luftsäule erfordern würde.

3) Von 2a bis 3a wächst die Tiefe des Tones fast ebenso schnell, als die Länge der Luftsäule.

4) Von 3a bis 4a schreitet die Vermehrung der Tiefe hneller fort als die Zunahme der Länge und erreicht bei a genau die Octave von dem Tone, welchen die Zunge allein schwingend giebt.

5) Bei weiterer Verlängerung der Röhre springt der Ton ötzlich wieder auf den ursprünglichen zurück und wird auf ne ähnliche Weise, als in den vier angegebenen Fällen, in gleicher Progression durch Vermehrung der Länge von 4a s 8a nur um eine Quarte tiefer.

6) Bei zunehmender Länge springt abermals der Ton wie- auf die Höhe des ursprünglichen zurück, seine Tiefe

Digitized by Google

wächst dann wieder, und zwar gleichfalls erst langsamer, dann schneller, bis sie bei 12 a die kleine Terz erreicht hat. Bei den Vermehrungen der Längen der in den angesetzten Röhren eingeschlossenen Luftsäulen war also die Zeit einer einzelnen Schwingung für

$$4a,\ 8a,\ 12a, \ldots = 1:2, = 3:4, = 5:6,$$

und würde also, wie auch fortgesetzte Versuche bestätigten, wie 7:8, 9:10, 11:12..... fortgehn. Daſs hierbei in der schwingenden Luftsäule verschiedene Schwingungsknoten gebildet werden, wonach dieselbe auf gleiche Weise als in den Labialpfeifen schwingt, möge hier nur im Allgemeinen bemerkt werden. Bei der Theorie, auf welche Weber diese sämmtlichen Erscheinungen zurückführt, liegt das Princip zum Grunde, daſs zwei Pendel, die für sich einzeln ihre Schwingungen in ungleichen Zeiten vollbringen würden, miteinander vereint in Zeiten schwingen, die zwischen den beiden, jedem einzelnen zugehörigen Zeiten in der Mitte liegen. Es versteht sich dann hiernach von selbst, daſs die beiden schwingenden Körper, die Zunge und die Luftsäule, vereint isochronisch schwingen. Die ursprünglichen oder freien Schwingungen der Zungen erfolgen nach denjenigen Gesetzen, die Euler[1] bereits aufgefunden hat, ihre Abweichungen hiervon in den Zungenpfeifen werden durch den vermehrten Druck der Luft gegen dieselben und durch den Stoſs der gleichzeitig in Schwingungen versetzten Luftsäulen auf gleiche Weise hervorgebracht, als wenn ein anderer schwingender Körper mit ihnen verbunden wäre. Die Schwingungen der Luftsäulen unterliegen im Allgemeinen dem bereits oben §. 39. nachgewiesenen Gesetze, wonach die Länge einer zwischen ihren Schwingungsknoten oscillirenden Luftsäule $= \frac{c}{n}$ ist, wenn c den Raum bezeichnet, den der Schall in 1 Sec. zurücklegt, n aber die Anzahl der Oscillationen in der nämlichen Zeit. Wird dann die Länge der schwingenden Luftsäule (der hinzugekommenen Pfeife) stufenweise vermehrt, so können die äuſsersten Schwingungsknoten nicht allezeit an das Ende derselben fallen, vielmehr liegen sie tiefer im Innern der Röhre oder rücken über das Ende derselben hinaus in die freie atmosphä-

1 Acta Petrop. 1779. P. I. p. 134.

rische Luft, wenn man sich die nicht vollständige Länge der letzten schwingenden Abtheilung als vervollständigt denken will. Weber stellt hierüber die zu seiner Theorie gehörigen zwei Sätze auf:

1) Wenn die Auſsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdichteter Luft communicirt, so ist die Länge der in der Pfeife schwingenden Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröſser als Null und kleiner als eine halbe schwingende Abtheilung ist.

2) Wenn die Auſsenseite der schwingenden Zunge mit einem Behälter von verdünnter Luft communicirt, so ist die Länge der Luftsäule ein Multiplum einer ganzen schwingenden Abtheilung plus einem Reste, der gröſser als eine halbe und kleiner als eine ganze schwingende Abtheilung ist.

63) Die Zungenpfeifen im Allgemeinen, mit solchen Zungen, wie im vorletzten §. beschrieben worden sind, kommen bei verschiedenen Registern der Orgelwerke in Anwendung[1], wobei man sich auch der sogenannten einschlagenden Zungen bedient; von der verbesserten hat man neuerdings einen interessanten Gebrauch zu machen angefangen. Die Verbesserung beruht hauptsächlich auf einer genauern Bearbeitung der vibrirenden Bleche, die sehr elastisch und gleichmäſsig gestaltet, nsbesondere aber so unbeweglich befestigt seyn müssen, daſs loſs ihr freier Theil ohne bedingenden Einfluſs des befestigen vibrirt, wozu dann noch eine zweckmäſsige Form der mit len Zungeninstrumenten verbundenen Pfeifen kommt. Auf iese Weise hat Schultz zu Wien den an sich schon angeehmen Ton der Mundharmonica noch verbessert, die einzelen tönenden Zungen zu einem Instrumente vereinigt, dieses iit einer Tastatur und einem Blasebalge verbunden, welcher ie allen einzelnen Tönen zugehörigen Pfeifen aus einer geeinschaftlichen Windlade anbläst, und so das *Aeolikon* oder *'eolodikon* erhalten[2]. Der Vorzug dieses Instruments besteht

1 Chladni verweist zur nähern Kenntniſs der Orgelpfeifen auf e musikalische Zeitung XIII. Jahrg. Nr. 33 u. 34. XIV. Jahrg. Nr. bis 36.

2 Diesem ähnlich sind Wheatstone's *Symphonium* (Quarterly urn. of Sc. cet. New Ser. N. XIV. 398.) und sonstige im Baue verhiedene, dem Wesen nach ähnliche, verschieden benannte Instru-

darin, daſs die Töne angenehmer sind, als die gewöhnlichen der Orgeln, namentlich die der Labialpfeifen, auch haben die nach dieser Art construirten Zungenpfeifen den Vortheil, daſs der Ton nicht bloſs so lange anhält, als der Spieler es wünscht, sondern daſs auch ein Steigern desselben und ein Sinken vom leisesten Piano bis zum stärksten Forte ohne sonstige Veränderung des Tones damit erreichbar ist.

Ein anderes unter diese Classe gehöriges Instrument, welches jedoch hauptsächlich als ausländisches nähere Aufmerksamkeit verdient, ist das *Scheng*. Prechtl[1] kannte dasselbe früher aus einer undeutlichen Beschreibung[2], wonach es zwei solche Instrumente, ein gröſseres mit 19 und ein kleineres mit 13 Pfeifen, geben soll, die hauptsächlich zur Begleitung des Gesanges gebraucht werden, erhielt aber später durch den Capitain Eduard Watts ein Exemplar des kleineren, wovon er eine Beschreibung mittheilt. Das chinesische *Scheng* oder *Tsing*, von welchem man in Europa den Bau der einschlagenden Zungen entnommen haben soll[3], besteht aus einer Halbkugel, aus deren nach oben gerichteter Durchschnittsfläche 13 seitwärts mit einer Oeffnung versehene Röhren von ungleicher Länge eingesenkt sind; drei derselben sind 15 Z., 4 sind 9 Z., die vier folgenden 6 Z. und die zwei kürzesten 4 Z. lang, die Oeffnung befindet sich bei allen etwa 1 Z. über der Fläche, und die Pfeifen sind so symmetrisch geordnet, daſs man die Löcher mit den Fingern bequem schlieſsen kann. In die übrigens luftdicht verschlossene Halbkugel tritt von der Seite her eine Röhre ein, die mit dem Munde nicht ohne beträchtliche Anstrengung angeblasen wird, wenn das Instrument tönen soll. Jede Pfeife tönt nur dann, wenn das Seitenloch zugehalten wird, die Ursache des Tones aber ist eine im innern, zur Hälfte aufgeschnittenen Theile des Röhrchens befindliche Zunge, wonach also auch dieses Instrument

---

mente. Nicht zweckmäſsig ist dasjenige, welches aus Mechan. Magaz. in Dingler's polyt. Journale Th. XXXVI. S. 270. beschrieben wird.

1 Jahrbücher des polytechn. Instituts. Th. XIII. S. 215.

2 Aus den Mémoires concernant l'Histoire, les sciences, les arts cet. des Chinois. Par les missionaires de Pe-Kin.

3 Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. New Ser. N. XIV. p. 398.

Digitized by Google

zu der Classe der Zungenpfeifen gehört, bei denen der Ton bekanntlich ausbleibt, wenn die Luft aus einer Oeffnung unterhalb des Zungeninstruments oder des sogenannten Mundstücks entweicht. Der Ton der Zunge kann durch etwas aufgeklebtes Wachs um eine volle Secunde tiefer gemacht werden, was mit den Gesetzen pendelartiger Schwingungen, wozu die Vibrationen solcher Bleche zu rechnen sind, genau übereinstimmt.

Die gemeine *Maultrommel*, zuweilen auch *Mundharmonica* genannt, deren Töne bei kunstmäſsiger Darstellung einen hohen Grad der Annehmlichkeit, für gröſsere Säle aber zu geinge Stärke haben, gehört unter diese Classe von Instrumenen. Die Töne werden zunächst durch die Vibrationen der tählernen Zunge erzeugt und dadurch klingender gemacht, aſs man die äuſsern stählernen Schenkel derselben zwischen en Zähnen klemmt, doch ist die neben der schwingenden unge vorbeiströmende Luft, gerade wie bei den Zungenpfein, der eigentliche tönende Körper. Das Instrument gewinnt n Interesse dadurch, daſs die Luft nach entgegengesetzten ichtungen strömen kann, wodurch eine zwar merkliche, im anzen aber nicht sehr bedeutende Veränderung des Tones wirkt wird. Zur Bildung der Töne dient hauptsächlich die der Mundhöhle eingeschlossene Luft, und die Zunge des ielers vermag durch Zurückziehung oder Hervorstreckung esen tönenden Luftraum bedeutend zu verengern und zu eritern, worauf die Möglichkeit beruht, Töne von sehr unſcher Höhe mit der nämlichen schwingenden Zunge des struments hervorzubringen, die mit dem tiefsten Tone der nge oder dem Grundtone mathematisch genaue Intervalle den und also vollkommen rein sind. Wheatstone[1] hat zeigen gesucht, auf welche Weise durch das Zusammenen verhältniſsmäſsiger Schwingungen die Töne entstehn ssen, Scheibler[2] aber wählt solche Maultrommeln, deren einen genau stimmenden Grundton giebt, vereinigt diese zwei Scheiben in einem Kreise neben einander, und indem

1 Quarterly Journ. of Sc. cet. New Ser. N. V. 175. Schweigg. n. LIII. 328.

2 Der physikalische und mathematische Tonmesser. Essen 1834. . 77.

er dann jederzeit diejenige abwechselnd anwendet, die der Tonart zugehört, in welcher er spielt, so ist die erzeugte Musik allezeit vollkommen rein und bloſs bei den Uebergängen aus einer Tonart in die andere, also beim Wechsel der Maultrommeln, findet die gleichschwebende Temperatur statt, wodurch das Ohr auf eine sehr angenehme Weise afficirt wird. Er nennt dieses Instrument *Aura*. Theoretisch lieſse sich diese interessante Aufgabe noch weiter verfolgen.

Ueber das gröſste und wirksamste Instrument, die *Orgel*, entlehne ich einige interessante geschichtliche Thatsachen aus dem, was G. U. A. Vieth[1] mitgetheilt hat. Die erste Idee hierzu gab vermuthlich die seit den ältesten Zeiten bekannte Pan- oder Papageno-Flöte und die gemeine Sackpfeife. Schon 150 Jahre vor C. G. construirte Ctesibius seine Wasserorgel, die Vitruv[2] nur unvollkommen beschreibt. Diese alten Orgeln waren tragbar. Im Jahre 753 erhielt Pipin eine solche vom byzantinischen Kaiser Constantinus Kopronymus zum Geschenke, wodurch diese Instrumente zuerst im Abendlande bekannt wurden. Carl d. G. erhielt eine ebendorther und Ludwig der Fromme lieſs 826 eine zu Aachen erbauen. Die jetzigen Windorgeln, anfangs von geringem Umfange kommen in Deutschland zuerst im 13. Jahrhundert vor, und ein Deutscher, Bernhard, Organist in Venedig, brachte 14[illegible] das Pedal dabei an. Von dieser Zeit an sind sie vielfach verbessert und oft von ungeheurer Gröſse erbaut worden. Unter die gröſsten gehören die in der Peterskirche zu Rom von 10[illegible] Stimmen und die in der Nicolaikirche zu Hamburg von [illegible] Stimmen und einem 32fuſsigen Principal von englischem Zinn an der Fronte; letztere hat 75000 Mark gekostet. Die von Eugen Casparini zu Görlitz gebauete Orgel hat 57 Stimmen, 3270 Pfeifen, und kostete 25000 Thaler[3].

64) Das vollkommenste Werkzeug, vermittelst dessen Töne durch secundäre Schwingungen der Luftsäule hervorgebracht werden, ist das Stimmorgan bei warmblütigen Thieren über

1 Anfangsgründe der Mathem. Th. II. Abth. 1. Leipz. 18[illegible] S. 451.

2 De Archit. L. X. c. 13.

3 Mehr hierüber findet man in G. C. B. Busch Handbuch der Erfindungen. Art. Orgel. Vergl. Meister de antiquo hydraulo Comm. Gott. 1770. T. II. p. 152.

Digitized by Google

haupt und bei den Menschen insbesondere. Wenn ich hier von den vielen ausführlichen Untersuchungen abstrahire, die von den Physiologen hierüber angestellt worden sind, und mich auf die Hauptsachen beschränke, die in physikalischer Hinsicht zunächst in Beziehung auf die menschliche Stimme Berücksichtigung verdienen, so kommt die Theorie dem Wesentlichen nach auf Folgendes zurück.

Die Stimme gehört nach Magendie und Biot[1] zur Classe der Zungenpfeifen und zwar der freischwebenden einschlagenden Zungen. Der eigentliche Sitz derselben ist der Kehlkopf, wo die Töne gebildet werden und dann sowohl durch die unterhalb befindliche Luftröhre, als auch durch die oberhalb befindlichen Theile, als die Mundhöhle, das Gaumsegel, die Zähne und Lippen, vielfache Modificationen erleiden. Behal-:en wir zu besserer Erläuterung die Aehnlichkeit der Pfeifen nit einschlagenden Zungen bei, so dienen die Höhlungen der Lunge als Windbehälter, aus denen die Luft durch die Expirationsmuskeln in die Luftröhre getrieben wird. Wie bei len durch Grenié verfertigten Zungenpfeifen §. 62. die Länge es Windrohrs unter dem tönenden Apparate von Einfluſs ist, o findet das Nämliche auch bei der Stimme rücksichtlich der .uftröhre statt, die aus einzelnen knorpeligen, mit membraösen wechselnden Ringen besteht und daher einer, wieohl geringen, Verkürzung und Verlängerung fähig ist. Der itz des Stimmorgans ist der Kehlkopf (*larynx*), eine längch viereckige, von oben nach unten allmälig verengte, dicht inter der Mundhöhle liegende und gleichsam eine Fortsetzung erselben bildende Höhle, die aus mehrern Knorpeln und iese verbindenden Bändern und aus Muskeln zusammengetzt und mit der aus der Mundhöhle bis in die Lungen rtgehenden Schleimhaut bekleidet ist. In demselben beıden sich die *Stimmbänder* oder Stimmritzenbänder (*ligaenta vocalia seu glottidis*), zwei aus deutlichen Fasern geldete rechtwinklige, einander parallele Membranen, die ein engen Zwischenraum, die *Stimmritze* (*glottis seu rima ottidis*), zwischen sich lassen, durch welche die Luft dringt, e sie zur Mundhöhle gelangt. Die Stimmritze ist ein sehr sammengesetztes Organ, bei Männern mehr entwickelt als

1 Traité T. II. p. 190.

bei Weibern, im Ganzen sieht man aber, daſs sie nach Art zweier gegeneinander gerichteter vibrirender Blätter oder Zungen in den sogenannten Rohrwerkzeugen einen Ton zu erzeugen vermögen. Auſser andern Muskeln des Kehlkopfes befinden sich in demselben mehrere Erweiterer und Verengerer der Stimmritze, wozu auch der Schild- oder Kehldeckelmuskel gehört, welcher den Kehldeckel herabzieht und dadurch das Stimmorgan verengert.

Daſs der Kehlkopf und speciell die Stimmritze dasjenige Organ sey, wodurch die Stimme gebildet wird, ergiebt sich sehr einfach aus dem Aufhören derselben, sobald die Luftröhre unterhalb des Kehlkopfes eine Oeffnung erhält, aus welcher die Luft entweichen kann[1], oder nach Zerstörung dieser Theile, ja sogar jede krankhafte Affection derselben verändert die Stimme und hebt sie bei groſser Bedeutsamkeit ganz auf. Auſserdem liegt ein wichtiger Beweis in den Beobachtungen von Magendie, welcher bei Hunden die Vibrationen der Stimmbänder so lange wahrnahm, als die erzeugten Töne dauerten, wonach also die Art, auf welche vermittelst dieses Organs die Töne entstehn, nämlich wie bei den Rohrwerkzeugen und namentlich den Zungeninstrumenten, bei denen die Luft durch eine Zunge, wie bei der Mundharmonica, zum Vibriren gebracht wird, kaum mehr zweifelhaft zu seyn scheint. Die Vorstellung, daſs die Töne im Allgemeinen wie bei Blasinstrumenten erzeugt werden[2], gehört unter die älteren und stützt sich auf die Aehnlichkeit beider tönenden Apparate, desgleichen auf das Pfeifen mit dem Munde und auf viele Versuche, aus denen hervorging, daſs bloſs die Erweiterung und Verengerung der Stimmritze eine Veränderung der Höhe und Tiefe des Tones bewirkt, nicht aber die Spannung der Stimmbänder. Andere betrachten die Stimmbänder als schwingende Membranen, deren Vibrationen denen der gespannter

---

1 Magendie kannte einen Mann, welcher eine Oeffnung in der Luftröhre unter dem Kehlkopfe hatte und daher eine Binde mit einer Klappe trug, um diese stets zu verschlieſsen, damit er reden konnte. Biot Traité II. 193.

2 Hir. Fabr. ab Aquapendente opp. om. anat. et physiol. Lips. 1687. fol. Cap. IV. p. 2. K. F. S. Liskovius Theorie der Stimme. Leipz. 1814. 8.

Saiten ähnlich seyn sollten[1]. Man stützte sich hierbei auf die Aehnlichkeit der Stimmbänder mit gespannten Saiten und auf die Resultate der Versuche, nach denen die Stimme aufhörte, wenn man die Stimmbänder drückte, aber fortdauerte, wenn man sie, mit Ausnahme ihrer Ränder, vom Kehlkopfe ablöste, auch verschieden hohe Töne entstanden, wenn man sie verschieden spannte. Die beiden letzten Thatsachen beweisen gar nichts, dann auch bei den vibrirenden Zungen entsteht der Ton nur durch die Vibrationen der äuſsersten Enden, wenn gleich diese aus anderweitigen leicht begreiflichen Ursachen ohne die eigenthümliche Beschaffenheit der ganzen Zungen meistens überall nicht statt finden können, auch verursacht eine Veränderung der Elasticität, Breite, Länge und Spannung der vibrirenden Blätter sogleich eine bedeutende Veränderung der Tonhöhen.

Eine nicht hinlänglich klare Einsicht in das eigentliche Verhalten schallender Körper führte in Folge der erwähnten Erscheinungen zu der Hypothese, daſs beide Ursachen gleichmäſsig zusammenwirkten, ein Mittelweg, den die Physiologie zuweilen einschlägt, die Physik aber nicht betreten darf, weil sie jederzeit den genauen Zusammenhang zwischen Ursache und Wirkung in scharfer Begrenzung nachweisen muſs und gegründeten Einwendungen nicht durch partielle Zugeständnisse auszuweichen suchen darf. Dodart[2] äuſserte die genannte Meinung, und sie fand seitdem bei mehrern Gelehrten Beifall[3], ist jedoch mit den physikalischen Gesetzen durchaus unvereinbar. Es folgt nämlich aus den vorhergehenden Untersuchungen über die Schwingungen gespannter Saiten ganz unbedingt, daſs die Stimmbänder viel zu kurz und keineswegs hinlänglich gespannt sind, um Töne von solcher Tiefe, als die der Baſsstimmen sind, oder von einer Stärke, wie sie nicht bloſs das menschliche Organ, sondern selbst das sehr kleiner Vögel zeigt, oder nur überhaupt von diesem eigenthümlichen Klange, zu erzeugen, noch dazu, wenn sie durch

1 A. Ferrein in Mém. de Par. 1741. p. 409., wo die ältere Literatur sehr vollständig mitgetheilt ist. Portal Mém. T. II. p. 308. Der nämlichen Meinung war auch Haller.

2 Mém. de Paris. 1700. 1706 u. 1707.

3 Meckel Handbuch der menschl. Anatomie. Th. IV. S. 401.

Digitized by Google

einen so weichen Körper, als die Luft ist, in Schwingungen versetzt werden. Auf gleiche Weise unmöglich ist es, das Organ der Stimme streng auf die sogenannten Labialpfeifen zurückzuführen, denn diese erfordern für den tiefsten Ton einer Baſsstimme eine achtfuſsige Pfeife, und wollte man auch die tiefen Töne bauchiger Medicingläser zu Hülfe nehmen, so ist doch eine so groſse Höhlung, als zu den tiefsten Tönen erforderlich seyn würde, bei Menschen auf keine Weise aufzufinden. Hiernach scheinen also die einschlagenden Zungen, wie die §. 64. beschriebenen, die Functionen des Stimmorgans am besten zu erklären, mit denen namentlich Grassi durch nicht eben bedeutende Verlängerung des unterhalb des Zungeninstruments befindlichen Rohrs die tiefsten Töne zu erzeugen vermochte und die noch obendrein der menschlichen Stimme durch eine oberhalb befindliche Höhlung sehr nahe ähnlich gemacht werden.

Obgleich man dieses als ausgemacht betrachten kann, so bleibt dennoch das Stimmorgan im höchsten Grade merkwürdig, theils wegen des Klanges der erzeugten Töne, theils wegen des Umfanges der Scale mancher Stimmen mit Rücksicht auf die geringen Veränderungen, deren dieser Apparat fähig ist. Der Wohlklang des Tones beruht nach der angegebenen Hypothese auf der Gleichmäſsigkeit der Stimmbänder und der Thätigkeit der zu ihrer Spannung dienenden Muskeln, der Umfang der Stimme aber auf den Grenzen der Erweiterung und Verengerung der Stimmritze, desgleichen auf dem Unterschiede der Gröſse des vibrirenden Theiles der Stimmbänder. Magendie bemerkte nämlich bei Hunden, daſs bei tiefen Tönen die Stimmbänder in ihrer ganzen Länge vibrirten, bei wachsender Höhe aber sich mehr näherten und zunehmend weiter an einander schlossen, so daſs zuletzt nur eine kleine Oeffnung und ein geringer schwingender Theil übrig blieb. Auſser dieser verschiedenen Weite der Stimmritze wird die Höhe und Tiefe der Töne wo nicht erzeugt, doch befördert durch die Bewegungen des Kehlkopfes, welcher bei hohen Tönen in die Höhe gezogen wird, um den Schildknorpel vom Ringknorpel zu entfernen, dadurch die Stimmritze zu verengern und ihre Bänder zu spannen, welches wirksamer ist, als die gleichzeitige Verlängerung und Verengung der Luftröhre. Bei tiefen Tönen findet das Gegen-

Digitized by Google

theil statt. Dem Kehldeckel (*epiglottis*) spricht Haller[1] allen Einfluſs ab, weil die Töne vollkommen gebildet aus der Stimmritze kommen sollen und auch die Vögel ohne dieses Organ singen; zugleich werden die Töne rücksichtlich ihrer Höhe durch Einschnitte in den Kehldeckel und durch Aufziehn oder Wegnehmen desselben nicht geändert; allein Meckel[2] zeigt aus andern Versuchen, daſs die Höhe und Tiefe der Töne allerdings durch das Herabgehn der Epiglottis in den Raum über dem Kehlkopfe und durch das Anspannen ihrer Muskeln bedingt wird, auch hat Grenié durch ein ihr nachgebildetes Stückchen Papier eine Modification der Töne bei seinen Zungenpfeifen hervorgebracht. Bennati[3] führt noch einen besondern Grund für den Einfluſs des Zäpfchens an, den auch Granville durch seine Beobachtungen unterstützt, wonach Baſssänger ein dickes Zäpfchen, Sopranisten dagegen stets ein sehr kleines, spitzes und bewegliches haben sollen[4]. Kratzenstein[5] ist gleichfalls der Meinung, daſs die durch die Stimmritze erzeugten Töne durch den Kehldeckel, die Wölbung des Gaumens, die Zähne und auch die Lippen bedeutend modificirt werden. Den bedeutendsten Einfluſs, wenn auch nicht auf die Bildung und Höhe der Töne, doch auf den Klang derselben, hat sicher die Mundhöhle, und mehrere theils erwähnte, theils noch namhaft zu machende Erscheinungen beweisen die merkwürdigen Veränderungen, welche die in Höhlungen eingeschlossenen Luftmassen rücksichtlich der in ihnen gebildeten Schallwellen erleiden. Die eigenthümliche Gestaltung und Gröſse dieser Höhlungen, ihre Begrenzung durch die Zähne, die Form und Beschaffenheit der Zähne und Lippen, tragen viel dazu bei, den angenehmen Klang der Stimme zu erhöhen; die Oeffnungen aber, welche in die Nasencanäle führen, werden durch das Gaumsegel verschlossen, und wenn dieses nicht statt findet, so verbreitet

---

1 Elem. Physiol. C. IX. S. III. 59.

2 A. a. O.

3 Annales des Sciences naturelles. XXIII. 32.

4 Omodei Annali universali di medicina. 1830. Jun. Daraus in lius und Gerson Magazin d. ausländ. Literatur d. gesammten Heilnde. 1831. Jul. u. Aug.

5 C. Th. Kratzenstein Tentamen resolvendi problema ab Acad. ci. Imp. Pet. ad annum 1740 propos. Petrop. 4.

Digitized by Google

sich der Schall auf diesem Wege, erleidet einen Abbruch seines in der Mundhöhle erhaltenen Klanges und wird näselnd.

Diese Theorie hat allerdings inneren Zusammenhang und findet in den Versuchen von Grenié, wonach solche Pfeifen, die in ihrem Baue groſse Aehnlichkeit mit dem menschlichen Sprachorgane haben, die Töne des Gesanges ziemlich genau nachbilden, eine bedeutende Unterstützung, weswegen ich dieselbe auch in nöthiger Vollständigkeit aufzunehmen und vorzustellen für gut fand. Entscheidende Gründe, die dieselbe vollständig zu widerlegen vermöchten, giebt es zwar nicht, wohl aber sind auch andere Hypothesen aufgestellt worden, die auf gleiche oder selbst gröſsere Angemessenheit Ansprüche machen. Liskovius[1] gesteht zu, daſs die Stimmbänder beim Singen zittern, allein er betrachtet dieses nicht als Ursache, sondern als Folge des Tönens, wovon er den Grund im Durchströmen der Luft durch die Stimmritze und hierdurch bedingten Schwingungen derselben findet. Auch beim sonstigen Durchströmen der Luft durch enge Oeffnungen entstehn nach seiner Ansicht Töne, deren Höhe mit der Verengerung der Oeffnung wächst; bei der menschlichen Stimme findet dann das Nämliche und zwar auf gleiche Weise als beim Flöten mit dem Munde statt. Zur Unterstützung dieser Ansicht dienten folgende wesentlichste Resultate von Versuchen. Bloſs die untern Kehlbänder (die Stimmbänder) gaben einen Ton, ohne Zuthun der obern, durch die sich zwar gleichfalls Töne hervorbringen lieſsen, allein bei lebenden Menschen ist dieses unstatthaft, da sie sich stets mit den untern parallel bewegen und daher stets in so groſsem Abstande von einander bleiben. Stärkere Spannung der Kehlbänder machte den Ton tiefer, weil dadurch gleichzeitig die Stimmritze erweitert wurde. Die Berührung der Stimmbänder mit dem Finger hinderte die Entstehung des Tones nicht, wohl aber ihre Trockenheit; die Gröſse der Oeffnung zwischen den Stimmbändern bedingte die Höhe so sehr, daſs die Töne selbst dann höher wurden, wenn Liskovius die Finger über beide Enden der Stimmritze ohne Berührung und bei unveränderter Gröſse derselben hielt. Bloſse Verstärkung des Luftstroms machte den Ton bis zu einer Quinte höher, zugleich aber scharf; ferner glichen die Töne

1 A. a. O.

Digitized by Google

dann denen der sogenannten Bruststimme, so lange die Stimmbänder sich näherten und selbst hinten schloſsen, vorn aber eine kleine Oeffnung lieſsen; wurden sie aber zugleich gespannt, so erfolgten bei zunehmender Verengerung der Stimmritze die sogenannten *Falset* (Fistel)-Töne, bis zum gänzlichen Schlieſsen. Bei den Tönen der Bruststimme geriethen die Stimmbänder in starke Bebung, die sich der ganzen Luftröhre mittheilte, aber bei den Falset-Tönen nicht allmälig, sondern plötzlich aufhörte.

Liskovius suchte hauptsächlich die ältere Hypothese zu widerlegen, wonach die Stimmbänder als schwingende Saiten betrachtet wurden, was einen so groſsen Aufwand gar nicht verdiente, er kam daher zu dem allerdings richtigen Resultate, daſs die Töne der Stimme durch Luftschwingungen hervorgebracht würden, lieſs aber dabei die Hauptfrage unerörtert, zu welcher der verschiedenen Arten von Luftschwingungen diese gehören. Dennoch ist einer der angegebenen Versuche geeignet, diese Frage der Entscheidung näher zu bringen. Wenn nämlich das Tönen der Stimme wirklich fortdauert, ungeachtet beide Stimmbänder mit den Fingern berührt werden, so kann dieses Organ nicht zu den Rohrwerkzeugen und namentlich nicht zu den einschlagenden Zungen gezählt werden. Ein unterstützendes Argument geht auch aus dem Resultate hervor, daſs die Töne bei stärkerer Spannung der Bänder tiefer wurden, da sie vielmehr der gleichzeitig erweiterten Stimmritze ungeachtet höher werden muſsten.

Savart[1] erklärt sich als Gegner der aufgestellten Theorie, wonach das Organ der menschlichen Stimme zu den Rohrwerkzeugen, namentlich den Zungenwerken gehören soll, ohne jedoch dieselbe durch ein bestimmtes und zugleich genügendes Argument zu widerlegen, vielmehr stellt er eine andere Erklärungsart auf, die er den Erscheinungen angemessener findet. Hiernach vergleicht er das Organ der Stimme mit einer kleinen Pfeife, einem kleinen, hohlen, mit einer Ritze versehenen Instrumente, dessen sich die Jäger bedienen, um die Stimmen der Vögel nachzumachen. Dieses versah er an beiden Seiten mit einer Röhre und erhielt hiernach eine Vorrichtung, welche seitwärts

1 Ann. Chim. et Phys. XXX. 64. Edinb. Journ. of Science. N. VIII. p. 200. Vergl. Magendie Journ. de Physiol. T. V. p. 367.

angeblasen im Tone einige Aehnlichkeit mit der menschlichen Stimme darbot. Zur Erklärung des groſsen Umfanges der erzeugten Töne nimmt er seine Zuflucht zu den Wirkungen konischer Pfeifen, durch welche allerdings tiefere Töne erzeugt werden können, als die ihrer absoluten Länge proportional sind. In der gegebenen Darstellung liegt allerdings viel Wahres, jedoch scheint mir hierdurch das Problem nicht im ganzen Umfange und hauptsächlich nicht mit der erforderlichen klaren Evidenz gelöst zu seyn.

Mayer[1] sucht mit groſsem Selbstvertrauen die durch Liskovius aufgestellte Theorie im Ganzen und im Einzelnen zu widerlegen und stellt dieser dann eine ihm eigenthümliche neue, alle einzelne Modificationen der Tonerzeugung berücksichtigende, entgegen, in welcher die Meinungen von Dodart und Ferrein vereinigt werden sollen. Die Entstehung der Töne wird diesemnach von den Schwingungen der nach Art gespannter Saiten vibrirenden Stimmbänder abgeleitet, zugleich aber wird „das Stimmorgan der Menschen und Säugethiere „eine wegen der Weichheit ihrer Wandungen nur unmerk„lich selbstschwingende *Blasröhre*“ genannt, „in deren Ca„nal dem Ende oder Ausgange näher zwei verschiedener „Spannung fähige Mundstücke (die Stimmritze und die Ritze „der Gaumbogen) angelagert sind, wovon das erstere als der „eigentliche Sitz der Stimmerzeugung anzusehn ist, das zweite „aber den erzeugten Ton nur modificirt.“ Inzwischen hat Liskovius[2] diese ganze Hypothese bereits genügend widerlegt, deren Unzulässigkeit schon daraus hervorgeht, daſs in akustischer Beziehung, worum es sich hier allein handelt, eine *Blasröhre* an sich sowohl als deren Mundstücke ohne nähere Bezeichnung durchaus unbekannte Dinge sind und also diese Ausdrücke ohne genauere Angabe ihres eigenthümlichen Baues und ohne Nachweisung des ätiologischen Zusammenhanges zwischen dem genannten Instrumente und seinen speciellen Wirkungen gar nichts sagen, mithin auch auf keine Weise als eine Lösung des vorliegenden Problems zu betrachten sind.

---

1 Abhandlung über die Function der Epiglottis. Bern 1814. Salzburgische med. chir. Zeitung 1814. N. 62. S. hauptsächlich J. F. Meckel Archiv für Anatomie und Physiologie. 1826. S. 188.

2 Meckel's Archiv 1827. S. 177.

Digitized by Google

Es ist sonach überflüssig, hier in die genannte Darstellung tiefer einzugehn, jedoch scheinen mir zwei Puncte auch in der gründlichen Widerlegung von Liskovius nicht genug gewürdigt zu seyn. Zuerst wird der Versuch, wonach die Töne der Stimme auch dann entstehn, wenn man die Stimmbänder berührt, nicht nach seiner Wichtigkeit und groſsen Beweiskraft hervorgehoben, zweitens aber gestehn beide dem Wesen nach gemeinschaftlich zu, daſs auf gleiche Weise beim Ausströmen und Einströmen der Luft durch den Larynx Töne erzeugt würden, im letztern Falle jedoch etwas höher. Allerdings entstehn Töne auch beim Einströmen der Luft, allein daſs irgend ein Sänger auf diese Weise einen eigentlich angenehmen und dem gewöhnlichen ähnlichen Gesang hervorzubringen vermocht habe, streitet gegen die Erfahrung, vielmehr lassen sich nur wenige Töne durch dieses Mittel erzeugen, sie unterscheiden sich aber so wesentlich von den eigentlichen schönen Tönen des Gesanges und erfordern eine so auſserordentliche Anstregung zu ihrer Hervorbringung, daſs dieser Umstand bei der Erklärung des ganzen Phänomens nicht übersehn werden darf.

Die Physiker und Physiologen pflichten der einen oder der andern beider erwähnten Hypothesen bei, wonach die Töne der Stimme entweder durch die Vibrationen der Stimmbänder, nach Art der durch schwingende Saiten erzeugten, gebildet werden, oder daſs der Kehlkopf einem Blasinstrumente gleicht, und es scheint mir überflüssig, diese Autoritäten insgesammt namhaft anzuführen. Das neueste Werk über dieses Problem, von Bennati[1], entscheidet über das eigentliche Wesen der Sache gar nicht, behandelt dagegen ausführlich den Einfluſs, welchen die einzelnen Theile des Stimmorgans auf die Eigenthümlichkeit der Stimme beim Sprechen sowohl als auch beim Singen haben, ein specieller Theil der gesammten Aufgabe, auf welchen ich tiefer einzugehn für unnöthig halte. Auch Bell[2] hat den Gegenstand in anatomischer, physiologischer und akustischer Hinsicht behandelt, dabei auch auf die Modificationen Rücksicht genommen, die zur Hervorbringung der eigenthümlichen Laute erforderlich sind.

---

1 Annales des Sciences naturelles. 1831. Mai.
2 Phil. Trans. 1832. p. 299.

Digitized by Google

Handelt es sich aber um eine definitive Entscheidung der eigentlichen Frage, so ist wohl ohne Bedenken mit Biot anzunehmen, daſs die Stimmbänder auf keine Weise als schwingende Saiten zu betrachten sind, und es bleibt daher bloſs noch die zweite Hypothese als allein zulässig übrig, wonach das Organ des Kehlkopfes als ein Blasinstrument wirkt. Hierbei tritt aber die sehr schwierige Frage ein, zu welcher Classe von Instrumenten dasselbe zu rechnen sey. Zu den Labialpfeifen und Flötenwerken kann dasselbe nicht gehören, weil nach der gleichfalls richtigen Darstellung von Biot diese ihrer Natur nach weit längere Pfeifen und eine weit längere schwingende Luftsäule erfordern, als der menschliche Stimmapparat darbietet. Unter den künstlichen Apparaten, in denen eine schwingende Luftsäule den Ton erzeugt, bleibt also keine andere übrig, als die Rohrwerkzeuge und namentlich die vibrirenden Bleche, die ihren Schwingungen ähnliche Vibrationen in einer durch eine feine Oeffnung strömenden Luftmasse erzeugen, wonach man also das Stimmorgan zu dieser Classe rechnen und die Bänder der Stimmritze als eigentliches Mittel der Tonerzeugung betrachten könnte. Allein auch dieser Hypothese stehn bedeutende, noch keineswegs hinlänglich beseitigte Einwürfe entgegen. Zuerst zeigen sich die Stimmbänder keineswegs auf eine solche Weise elastisch, als die einschlagenden Zungen seyn müssen, wenn sie die hohen Töne der Sopranstimmen geben sollen. Zweitens zeigt die Verengerung der Stimmritze auf die Höhe des erzeugten Tones einen weit stärkern Einfluſs, als dieses bei den einschlagenden Zungen, der Mundharmonica, den Rohren der Blasinstrumente und andern Apparaten der Fall ist, wenn man auch die Umstände übersehn wollte, daſs keinem derselben ein so leichter Uebergang von einem Tone zum andern durch die kleinsten Intervalle und zugleich in einem so bedeutenden Umfange eigen ist, als der menschlichen Stimme, indem namentlich auf der Maultrommel, aller günstigen Bedingungen ungeachtet, keineswegs alle Töne der chromatischen Tonleiter hervorgebracht werden können. Ist aber endlich der Versuch von Liskovius richtig, daſs auch dann noch Töne erzeugt werden, wenn man beide Stimmbänder berührt, so müſste auch dieses als ein gewichtiges Argument gegen die Hypothese gelten, wonach man die Stimmbänder den vibrirenden Zungen

gleich stellt. Bei Hoboën, Clarinetten und Fagotten wird zwar der Ton durch die Berührung der Rohrflächen mit den Lippen gleichfalls nicht aufgehoben, allein diese Instrumente haben zugleich eine Röhre, in denen die eingeschlossene Luftsäule, die noch obendrein durch die Löcher verkürzt und verlängert werden kann, durch den feinen, gegen sie stoſsenden Luftstrom, der durch die Rohröffnung dringt, in Schwingungen versetzt wird, und ihr Bau ist daher weit mehr zusammengesetzt, als der des Stimmorgans. Endlich aber sind die Lippen, welche die Flächen der schwingenden Blätter bei den genannten Instrumenten berühren, ungleich elastischer, als die Finger, die Liskovius auf die Stimmbänder legte, und keines jener Blätter vermag einen Ton zu geben, wenn es oben am Rande berührt wird, wogegen die Stimmbänder ohne Zweifel nahe am Rande berührt wurden.

Die Kunst vermag also kein Instrument darzustellen, dessen Wirkungen denen des menschlichen Stimmorgans vollkommen gleichen, alle bieten zur Erklärung nur Aehnlichkeiten dar. Die Natur selbst aber zeigt uns in den Lippen noch eine zweite Vorrichtung ähnlicher Art, vermittelst deren bei einer veränderlichen Oeffnung durch hindurchströmende Luft Töne von ungleicher, in den feinsten Intervallen wechselnder Höhe und von bedeutendem Umfange hervorgebracht werden, deren Klang bei einiger unverkennbaren Aehnlichkeit sich allerdings sehr verschieden zeigt, was aber aus dem Mangel desjenigen Apparates, der im Kehldeckel, der Mundhöhle, den Zähnen, Lippen u. s. w. mit der Stimmritze verbunden ist, sehr leicht erklärbar wird. Es fragt sich aber, auf welche eigenthümliche Weise vermittelst dieses Apparats die Töne erzeugt werden, die sich leichter beantworten läſst, weil wir denselben genauer zu beobachten vermögen. Die Töne des *Pfeifens mit dem Munde* werden erzeugt, indem man eine Oeffnung zwischen den Lippen bildet, die bei höheren Tönen enger, bei tieferen weiter ist; der Ton entsteht dabei sowohl durch Ausstoſsen als auch durch Einziehn der Luft und ist, wie bei der Stimme, im letztern Falle meistens etwas höher. Ob die Lippenränder hierbei vibriren und durch ihre Schwingungen die durchströmende Luft zum Tönen bringen, ist schwer zu entscheiden. Als Resultat von Versuchen geht hervor, daſs der Ton zwar nicht ganz ausbleibt, aber schwerer

erzeugt wird, wenn die Lippen trocken sind, weswegen man sie vorher mit der Zunge zu befeuchten pflegt. Dieser Umstand, und noch mehr ein anderer, nämlich daſs der Ton sicher ausbleibt, wenn man ein auch noch so kurzes und dünnes Röhrchen von beliebiger Weite zwischen die Lippenöffnung schiebt, entscheidet für das Vibriren der Lippenränder, dagegen aber streitet die Erfahrung, daſs man beide Flächen der Lippen ohne Aufhebung des Tones gleichzeitig mit einem dünnen Drahte berühren kann, jedoch hört der Ton auf, wenn man statt dessen ein über eine Linie breites Blech über beide Lippenflächen hält, auch dann, wenn diese Bleche am äuſsersten Rande der Lippen das eine hinauf, das andere herab gebogen sind, um den freien Luftstrom nicht zu hindern. Dieser Versuch führt zu einem interessanten Resultate. Wird die Fläche der einen Lippe mit einem solchen Bleche berührt, so gewahrt man deutlich durch das Gehör, daſs der berührte Theil der Lippe zur Tonerzeugung nichts weiter beiträgt, und auf gleiche Weise kann man zunehmend gröſsere Theile einer oder beider Lippen bedecken, um die Ueberzeugung zu erlangen, daſs die bedeckten Theile zur Erzeugung der Töne, die fühlbar durch die unbedeckten entstehn, nichts beitragen. Klebt man über die eine Lippe ein Stück Amnium-Häutchen, welches sich so genau über die Oberfläche der benetzten Lippe ausbreitet, daſs man kaum eine Veränderung der letztern wahrzunehmen vermag, so wird dadurch das Pfeifen erschwert, aber nicht aufgehoben, überklebt man aber auf diese Weise beide Lippen, so bleibt der Ton ganz aus, indem das übrigbleibende Geräusch nicht als eigentlicher Ton betrachtet werden kann. Dieses Resultat würde entscheidend seyn, stände ihm nicht der Einwurf entgegen, daſs das Pfeifen mit dem Munde auf gewisse Weise erlernt werden muſs und daher das Ausbleiben des Tones als Folge der Ungewohnheit betrachtet werden könnte; inzwischen lege ich hierauf nicht so groſses Gewicht, denn wenn man den Versuch selbst anstellt, so zeigt ein deutliches Gefühl, daſs die Bildung des Tones durch den feinen Ueberzug der Lippen gehindert wird, selbst auch nach der Befeuchtung durch die Zunge.

Diesemnach glaube ich also, daſs die Töne des Pfeifens mit dem Munde und die der Stimme einer und derselben Classe zugehören und beide durch die Schwingungen der Luft

Digitized by Google

entstehn, die durch eine enge, mit feinen, zarten und feucht erhaltenen Häuten ausgekleidete Oeffnung strömt. Die Ränder oder Oberflächen der Oeffnung gerathen hierbei allerdings in Schwingungen, die ich denen vergleichen möchte, in welche eine mit dem Violinbogen sanft gestrichene Saite an der durch die Haare des Bogens berührten Stelle versetzt wird. Aus diesem Grunde ist die Bedingung erklärlich, daſs die Häute nicht bloſs fein, sondern auch feucht seyn müssen, wenn überhaupt ein Ton und insbesondere ein wohlklingender entstehn soll. Ich habe ferner bemerkt, daſs diejenigen Lippen zum Pfeifen am meisten geeignet sind, die beim Spitzen des Mundes zu diesem Zwecke gegen einander gerichtete, konisch zugespitzte Hervorragungen bilden, die einige Aehnlichkeit mit der Stimmritze haben. Den Ton des Flötens begünstigt dann ferner die Dicke der Lippen, zwischen denen von der Oeffnung aus sich eine Höhlung bildet, welche als das untere offene Ende einer konischen Pfeife anzusehn ist, die zur Erzeugung der Töne mit beiträgt. Die Tonhöhe beim Pfeifen wird hauptsächlich durch die verschiedene Gestaltung der Mundhöhle vermittelst der Zunge bedingt, wobei eine Verengerung und gleichzeitige Verlängerung auf gleiche Weise wie beim Singen der gröſsern Höhe zugehört. Darf also die menschliche Stimme im Allgemeinen mit der Tonerzeugung beim Flöten mit dem Munde verglichen werden, so ist es leicht, die Eigenthümlichkeiten beim Reden und Singen aus der Mitwirkung der verschiedenen Höhlungen und Häute des Stimmorgans abzuleiten.

Der Umfang der menschlichen Stimme, welcher von der Nachgiebigkeit des Kehlkopfes und der übrigen Theile abhängt, geht in reinen und klaren Tönen selten über zwei Octaven hinaus. Man rechnet die *Baſsstimmen* von E bis a, *Baryton* on A bis $\bar{f}$, *Tenor* von c bis $\bar{a}$, *Alt* von f bis $\bar{\bar{f}}$, *Mezzo oprano* von $\bar{e}$ bis $\bar{\bar{a}}$, *Soprano* von $\bar{c}$ bis $\bar{\bar{\bar{c}}}$. Dieses sind die orderungen der Orchester; seit Mozart verlangt man aber ir Sopran von $\bar{c}$ bis $\bar{\bar{\bar{f}}}$, die meisten vorzüglichen Stimmen ıer zeichnen sich durch einen gröſsern Umfang aus. Derlbe ist jedoch schon dann selten, wenn er zwei volle Octan vollständig umfaſst, indeſs giebt es Sängerinnen, deren

Stimme sogar drei Octaven begreift; am ausgezeichnetsten und physiologisch merkwürdig war die jüngste Schwester unter den bekannten Sessi's, deren nicht liebliche, mehr scharfe, aber reine und klare Stimme 3 Octaven und 3 Töne umfaſste und von c bis $\overline{\overline{\overline{f}}}$ reichte. Als Gegensatz darf wohl der ältere Berliner Fischer, der Vater der später berühmt gewordenen Sänger, erwähnt werden, dessen überraschend wohlklingende Baſsstimme bis $\underline{F}$ ging. Die Stimmbänder der Knaben sind klein und fein, wie die der Damen, und bleiben so, wenn ihre Entwickelung durch Entmannung gehindert wird, wachsen aber in späteren Jahren bis zur doppelten Gröſse und Stärke, so daſs sie zur Erzeugung der Baſstöne fähig werden[1]. In diese Uebergangsperiode fällt das sogenannte Brechen der Stimme, welches bei einigen Personen insofern fortdauert, als ihre Stimme regellos von bedeutender Höhe zur Tiefe und umgekehrt überspringt[2]. Die Stimmritze gestattet im gewöhnlichen Zustande der Luft den freien Durchgang, krampfhafte Verengerung erzeugt den Ton des Hustens und im krankhaften Zustande den eigenthümlichen Ton beim Croup und Keuchhusten, das Schluchzen u. s. w., auch kann man durch einen unangenehmen und leicht gefährlichen äuſsern Druck des untern Theiles des Kehlkopfes das Grunzen eines Schweines nachahmen.

Es läſst sich hieran leicht eine kurze Andeutung der Art knüpfen, auf welche die Stimmen der Thiere entstehn. Sie finden sich bloſs bei den Mammiferen, den Vögeln und einigen Reptilien und werden auf gleiche Weise, wie bei den Menschen, durch Stimmbänder erzeugt, die gleichfalls den Zungenwerken oder genauer dem Organe der menschlichen Stimme vergleichbar sind. Bei den Mammiferen insgesammt liegt der tönende Apparat am Ausgange der Luftröhre (*trachea*), ist aber bei weitem nicht so fein und so gut ausgebildet, als bei den Menschen, weswegen ihre Stimme, auſserdem durch keine Mittel der Kunst unterstützt, einen gleichen Grad der

---

1 S. Dupuytren in Voigt's Mag. Th. VIII. N. 1. S. 57.

2 Sömmerring vom Baue des menschl. Körpers. V. Abth. 2. Dessen Abbildung d. menschl. Geschmacks- und Sprach-Organe. Frankf. 1805.

Digitized by Google

Vollkommenheit zu erlangen nicht geeignet ist[1]. Bei den Vögeln, namentlich den Singvögeln, hat der Bau der Luftöhre einen entschiedenen Einfluſs auf die Art der Töne. Am nerkwürdigsten im Allgemeinen ist, daſs sich das Stimmorgan m untern Theile der Luftröhre befindet, weswegen ein Einchnitt in die letztere die Erzeugung der Töne nicht hindert. luſserdem ist die Luftröhre bei ihnen weit mehr zusammeniehbar, als bei den Mammiferen, und kann sich auſserdem m obern Theile mehr zusammenziehn und erweitern, durch velche beide Eigenthümlichkeiten vielfache Modificationen der öne möglich werden, obgleich ihre eigentliche Erzeugung urch die Stimmritze geschieht. Manche Vögel haben auſserem einen nach oben sich trompetenförmig erweiternden Larnx, wodurch ihre Stimme klingender wird, bei andern ist erselbe an einigen Stellen bauchig erweitert, was gleichfalls estimmte Modificationen der Töne herbeiführt, auch finden och sonstige Eigenthümlichkeiten statt, deren vollständige Errterung hier zu weit führen würde[2].

Auf den Mechanismus der menschlichen *Sprache* rückichtlich der Erzeugung der einzelnen Buchstaben mich einulassen scheint mir hier nicht geeignet, obgleich dieser Geenstand im Ganzen gleichfalls zur Akustik gehört[3]. Die erorderlichen Töne werden dabei auf ähnliche Weise, wie beim esange, durch die Stimmritze erzeugt, die Eigenthümlichkeit er zur Wortbildung gehörigen vorherrschenden Selbstlauter nd Mitlauter aber durch die verschiedenen Theile der Sprachrgane, der Zähne, des Gaumens, der Lippen und Zunge, icht ohne Mitwirkung des Nasencanals, bedingt. Der Proeſs ist im Ganzen ein sehr zusammengesetzter und durch ünstliche Mechanismen keineswegs im gleichen Grade nachildbar, als dieses bei der Gesangstimme der Fall ist, und Kempelen's[4] *Sprachmaschine* giebt bei einiger Nachhülfe it der Hand kaum den menschlichen entfernt ähnliche Laute. euerdings hat vorzüglich Robert Willis[5] sich bemüht, im

1 Cuvier Leçons d'Anatomie comparée. T. IV.

2 Cuvier in Journ. de Phys. T. L. p. 426. Savart in Ann. Ch. ys. T. XXXII. p. 5. 113.

3 Vergl. Chladni in G. LXXVI. 187.

4 Vergl. *Automat.* Bd. I. S. 655.

5 Trans. of the Camb. Phil. Soc. T. III. p. 231. Daraus in Pogndorff's Ann. XXIV. 397.

Digitized by Google

Wesentlichen auf die durch Kratzenstein angegebene Weiſe die Töne der menschlichen Stimme und selbst die Unterschiede der Selbst- und Mitlauter vermittelst der Zungenpfeifen nachzubilden.

II. Fortpflanzung des Schalles.

65) In der Regel steht der schallende Körper nicht unmittelbar mit dem wahrnehmenden Ohre in Verbindung, sondern durchläuft ein zwischenliegendes Mittel, bis er zu den Gehörnerven gelangt. Den Durchgang des Schalles durch diese Medien, mag nun ein einziges homogenes oder mögen deren verschiedene neben einander liegende und abwechselnde vorhanden seyn, nennt man dessen Fortpflanzung und untersucht die Gesetze, wonach diese vor sich geht. Der Schall besteht aber aus Wellen, aus pendelartigen Schwingungen elastischer Körper, ist also keine selbstständige Potenz (kein *ens sui generis*), sondern nur die Wirkung gewisser eigenthümlicher Bewegungen wägbarer Körper, erfordert also auch deren Vorhandenseyn, wenn eine Fortpflanzung statt finden soll, und kann daher der Natur der Sache nach durch den leeren Raum nicht fortgeleitet werden. Die Nothwendigkeit dieser Folgerung leuchtet deutlich ein und die Sache bedarf also eigentlich keines weiteren Beweises; dennoch aber ist es üblich, diese Wahrheit durch einen eigenen Versuch darzuthun. Zu diesem Ende setzt man einen Wecker, den man unmöglich in ein absolutes Vacuum ohne Berührung irgend eines Körpers bringen kann, auf eine durch Baumwolle oder Wolle weiche Unterlage auf den Teller einer Luftpumpe, stürzt eine Campane darüber und exantlirt, worauf sich dann zeigt, daſs der Schall auswärts gar nicht oder nur äuſserst schwach gehört wird, beim Zutritte der Luft aber verstärkt wieder zum Vorschein kommt. Die Wecker sind meistens so eingerichtet, daſs ein luftdicht in der Fassung der Campane beweglicher, zuweilen auch mit einem Hebelarme versehener Draht das Uhrwerk, wodurch der Hammer getrieben wird, um gegen eine Glocke zu schlagen, fortgehn läſst oder aufhält. Apparate dieser Art können auf sehr verschiedene Weise eingerichtet werden, ihr Mechanismus ist aber so einfach und leicht, daſs es mir überflüssig scheint, eine nähere Beschreibung irgend einer Vorrichtung dieser Art mitzutheilen.

Digitized by Google

Weil der Schall bei weitem in den meisten Fällen durch die Luft fortgepflanzt wird, so herrschte ehemals im Allgemeinen die Ansicht, daſs die Luft der einzige zur Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles geeignete Körper sey[1], und man suchte dann die Frage zu beantworten, ob auch sonstige tropfbar flüssige und feste Körper denselben zu leiten vermöchten. Neuere Untersuchungen haben nicht bloſs die Möglichkeit hiervon dargethan, sondern auch zur genauern Kenntniſs der Gesetze geleitet, nach denen diese Fortpflanzung bei den verschiedensten Körpern erfolgt.

A. Fortpflanzung durch atmosphärische Luft.

a) Versuche über Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

66) Man hat schon frühe die Frage zu beantworten gesucht, mit welcher Geschwindigkeit der Schall eine gegebene Entfernung durchläuft, denn daſs hierzu eine gewisse Zeit erfordert werde, davon überzeugte man sich bald durch solche Erscheinungen, bei denen die erzeugende Ursache des Schalles in beträchtlicher Weite gesehn und dann erst später der Schall gehört wurde; die aus den Versuchen und Beobachungen erhaltenen Resultate waren aber unsicher und sehr abveichend, weil es dabei gänzlich an Genauigkeit fehlte. Man eobachtete allezeit einen stark schallenden Körper aus beeutender, ziemlich genau gemessener Entfernung, betrachtete ie Zeit des Durchlaufens des Lichts durch diesen Raum als erschwindend klein und maſs diejenige, welche bis zur Anunft des Schalles am Ohre verstrich, wobei die letztere Gröe, nämlich die Zeit, allzu unvollkommen gemessen wurde. ugleich beachtete man zwar die Einwirkung des Windes, g aber den Einfluſs der Temperatur nicht so mit in Rechng, daſs ein genügendes Resultat daraus hervorgehn konnte. iesemnach können wir die sämmtlichen Versuche abtheilen ältere, bei denen diese nothwendige Bedingung nicht be-

---

1 Vergl. Chladni in Hindenburg's Archiv d. rein. u. ang. Mathetik. 1794. Hft. 1. S. 127.

Digitized by Google

rücksichtigt wurde, und in neuere, wobei dieses geschah, wonach dann jene bloſs noch geschichtliches Interesse haben, ohne zur Lösung des eigentlichen Problems etwas beizutragen, diese dagegen die Aufgabe der endlichen Entscheidung mehr oder weniger nahe bringen. Zu den älteren Versuchen gehören folgende. Gassendi[1] fand nicht selbst 1473 Fuſs für 1 Secunde, sondern erwähnt eine der Bestimmungen durch Mersenne[2], welcher die genannte Gröſse und auch 1380 Fuſs fand. Genauer war 1660 die Bestimmung der Florentiner Akademie[3] vermittelst abgebrannter Geschütze zu 1185 Fuſs. Robert Boyle[4] fand 1200 Fuſs. Walker[5] schwankt zwischen 1150 und 1526 F., eine so bedeutende Fehlergrenze, daſs hieraus allein die Unzulässigkeit des Resultates genügend hervorgeht. Die Bestimmung von Roberts[6] zu 1300 Fuſs liegt zwischen beiden Angaben ungefähr in der Mitte; ihr nahe kommt die von Bianconi[7], welcher zugleich die Beobachtung machte, daſs die Wärme eine Vermehrung der Geschwindigkeit bewirke, indem der Schall im Winter 4 Sec. mehr gebrauchte, als im Sommer, um den gemessenen Raum von 16 ital. Meilen zu durchlaufen. Ungewöhnlich klein war die Geschwindigkeit, welche Flamstead, Halley und Derham[8] auffanden, und mit Newtons theoretischer Bestimmung mehr übereinstimmend, nämlich 1020 F. Mangel an Genauigkeit läſst sich den berühmten Versuchen der Mitglieder der Pariser Akademie nicht geradezu vorwerfen, allein die erhaltenen Resultate waren dennoch zu ungenügend, weil der Temperatur-Unterschied nicht in Rechnung gebracht und daher keine Uebereinstimmung unter den so sehr abweichenden Gröſsen gefunden wurde. Cassini, Huyghens, Picard und Olaus Roemer fanden zuerst[9] 1097 Fuſs, später nach ge-

1 Musschenbroek Introd. T. II. p. 920. §. 2231.

2 Harmon. univ. Par. 1635. fol. Prop. V. art. 4. Tractat. de arte ball. p. 138.

3 Musschenbroek Tent. Exper. II. p. 112.

4 Essay on languid motion. p. 24.

5 Phil. Trans. N. 256. T. XX. p. 434. Vergl. N. 247.

6 Phil. Trans. 1694. N. 209.

7 Comm. Bonon. II. 365. In Hamb. Magaz. XVI. p. 476.

8 Phil. Trans. N. 313. T. XXVI. p. 16. Ann. 1708 u. 1709.

9 Du Hamel Hist. de l'Acad. L. II. Sect. 3. C. 2.

naueren Messungen[1] 1038 und dann 1041 F.; zu Quito fanden die französischen Akademiker, namentlich Condamine[2], 1044 und 1050, auf Cayenne aber[3] 1198. An diese Versuche schlieſsen sich einige in Deutschland ausgeführte, die den in Frankreich angestellten rücksichtlich der Genauigkeit durchaus nicht nachstehn und für die damalige Zeit mit Rücksicht auf die gebrauchten Apparate das Problem zur definitiven Entscheidung gebracht hätten, wenn die Temperatur als Rechnungsfactor benutzt und dadurch die genaue Uebereinstimmung der einzelnen Resultate unter einander nachgewiesen worden wäre. Ein groſser Vorzug gebührt ihnen wegen der scharfen Zeitbestimmung, die vermittelst der gebrauchten Tertienuhren erhalten wurde, wobei es merkwürdig ist, daſs man diese für solche Beobachtungen unentbehrlichen Apparate in Deutschland und Holland, nicht aber in Frankreich angewandt hat. Kaestner und J. T. Mayer[4] wählten 1778 die Göttingische Sternwarte zum Beobachtungsorte, maſsen die Zeit mit einer Tertienuhr von Klindworth und erhielten für die Geschwindigkeit 1034 bis 1037 Fuſs in einer Secunde, Müller[5] aber maſs später auf dem Felde bei Göttingen mehrere Standlinien mit der Kette und 16 F. langen Stäben, verglich diese gröſserer Genauigkeit wegen, gebrauchte zur Zeitbestimmung eine Tertienuhr von Ahrens und erhielt als Resultat 1040,3 Fuſs. Diese werthvollen Versuche mögen also die Reihe der älteren beschlieſsen. Der Zeit nach mit ihnen zusammenfallend sind diejenigen, welche die beiden Begleiter Malaspina's auf seiner Entdeckungsreise Don José de Espinosa und Don Felipe Bauza im Jahre 1794 zu St. Jago de Chili anstellten[6], wobei jedoch die Messungen so ungenau waren, daſs die Resultate weder unter sich noch auch mit andern zuverlässigen hinläng-

1 Mém. de l'Acad. 1738. p. 128. 1739. p. 126.

2 Introduct. histor. Par. 1751. p. 98.

3 Mém. de l'Acad. 1745. p. 488. Condamine Voy. de la Riv. des Amaz. p. 206. Vergl. Winkler Tentamina circa soni celeritatem per aërem atmosph. Lips. 1763. 4.

4 Dessen praktische Geometrie. Gött. 1792. I. 166.

5 Gött. gelehrte Anz. 1791. St. 159. Lichtenberg Mag. Th. VIII. St. 1. S. 170.

6 Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 93. Vergl. Crelle Journal u. s. w. Th. II. S. 307.

Digitized by Google

lich übereinstimmen. Sie fanden nämlich bei 23°,2 C. die Geschwindigkeit des Schalles = 190,6 Toisen oder 1143,6 par. Fuſs und auf 0° Temperatur reducirt 1098,92 Fuſs.

Unter den neuern Versuchen, wodurch die Frage zur endlichen Entscheidung gebracht worden ist, stehn die von Benzenberg angestellten billig oben an, da sie eine geraume Zeit die einzigen waren, aus denen man die gesuchte Bestimmung entnahm. Als Beobachtungsort diente der Kirchthurm zu Ratingen, die Explosionen des Geschützes geschahen zu Düsseldorf, die Entfernung beider Puncte war trigonometrisch gemessen und zur Zeitbestimmung diente eine Tertienuhr von Pfaffius in Wesel. Jederzeit wurde das Mittel aus einer groſsen Menge einzelner Messungen genommen, die die zur Feier verschiedener Feste angeordneten Kanonenschüsse am 5. Nov., 2. und 3. Dec. 1809 und am 8. Juni 1811 gaben[1]. Unter diesen können jedoch bloſs die vom 3. Dec. 1809 und vom 8. Juni 1811 auf den erforderlichen Grad von Genauigkeit Anspruch machen, indeſs ergab sich bald der bis dahin entweder gar nicht oder nicht genügend beachtete und auf jeden Fall nicht als Rechnungsfactor benutzte Einfluſs der Temperatur, dieser ergiebt sich jedoch nicht bloſs aus der Erfahrung, sondern folgt auch nothwendig aus theoretischen Gründen. Die Geschwindigkeit der Schallwellen ist nämlich eine Function der Elasticität der Körper, und da die specifischen Elasticitäten der Luft bei 0° sich zu der bei t° wie die Einheit zu $1 + 0,00375t$ verhält, so muſs für eine bei irgend einer Temperatur $= t$ in Graden der hunderttheiligen Scale beobachtete Geschwindigkeit $= c$ die auf 0° reducirte Geschwindigkeit $c' = \frac{c}{\sqrt{(1 + 0,00375\,t)}}$ seyn, wie bereits oben §. 46. erwähnt worden ist. Werden die einzelnen Versuchsreihen hiernach auf 0° Temperatur reducirt, so geben die vom 3. Dec. 1809. 1028,3 Fuſs, die vom 8. Juni 1811 die erste Reihe 1026,8 F. und die zweite 1027,1 par. Fuſs, also giebt das Mittel aus diesen drei Reihen die Geschwindigkeit des Schalles in einer Sexagesimalsecunde und bei 0° Temperatur = 1027,4 par. Fuſs oder 333,7 Meter. Als dieser bedeutende Einfluſs der Temperatur einmal erkannt war, wandte man diese Cor-

1 G. XXXV. 383. XLII. 1 ff.

rection auch auf die mit gröſster Genauigkeit ausgeführten und umständlich beschriebenen Versuche der französischen Akademiker an, für deren Zuverläſsigkeit ohnehin schon ihre groſse Uebereinstimmung unter einander entscheiden muſste. Die aus 8 Versuchsreihen an verschiedenen Tagen und an wechselnden Standpuncten erhaltene mittlere Gröſse ist 1036,35 par. F. und die mittlere Temperatur läſst sich mit groſser Sicherheit zu 6° C. annehmen, wonach dann die Formel

$$c' = \frac{1036,35}{\sqrt{1,0225}} = 1024,9 \text{ par. F.}$$

giebt[1].

Die erwähnten Versuche schienen den französischen Gelehrten das Problem noch nicht vollständig genug zu lösen und sie veranstalteten daher selbst solche, die ein vollständig genaues Resultat liefern sollten. Diese wurden am 21. und 22. Juni 1822 auf Veranlassung der Akademie an der nämlichen Stelle gemacht, die bereits 1738 zu diesem Zwecke gewählt worden war. Zur Erzeugung des Schalles wurden 6pfündige Kanonen angewandt, zur Messung der Zeit aber dienten geprüfte Taschen-Chronometer der Sternwarte, gegen deren genauen Gang zwar nichts einzuwenden ist, allein daſs sie die kleinen Zeitintervalle nicht mit gleicher Schärfe geben, als die Tertienuhren mit konischen Pendeln, unterliegt keinem Zweifel, und man muſs sich wundern, daſs die französischen Gelehrten solche nicht benutzten, die in Paris kaum bekannt sind, ungeachtet Pfaffius die von ihm verfertigten dem Institute früher vorgezeigt hat[2]. Um zugleich den Einfluſs des Windes auszumitteln, wurde auf beiden Stationen theils beobachtet, theils der Schall erzeugt. Auf der einen zu Montlhery befanden sich A. von Humboldt, Gay-Lussac und Bouvard, auf der andern zu Ville-Juif Prony, Mathieu und Arago; das Wetter war heiter, es herrschte fast Windstille und der schwache Wind wehte von Ville-Juif nach Montlhery oder NNW. Dennoch hörte man alle Schüsse von Montlhery genau in Ville-Juif, auf der ersteren Station aber hörte man am 21. nur 7 Schüsse, am 22. nur einen. Am ersten

---

1 Vergl. R. van Rees dissert. de celeritate soni. Traj. ad Rhen. 1819. 4. p. 36.

2 S. Benzenberg a. a. O.

Digitized by Google

Tage war mittlerer Barometerstand 756,4 Millim. (27″ 11‴,309), Thermometer 15°,9 C., Hygrometer 72°; am 22sten war Barometerstand 755,58 MM. (27″ 10‴,946), Thermometer 17°,6, Hygrometer 95°. Die mittlere Zeitdauer zwischen dem geſehenen Blitze und dem gehörten Schalle betrug am ersten Tage zu Montlhery 54″,43, zu Ville-Juif 54″,81, und der Schall durchlief also die gemessene Strecke im Mittel in 54″,6; am zweiten Tage, wo bloſs zu Ville-Juif gemessen werden konnte, betrug die Zeitdauer 53″,75. Die genau gemessene Entfernung beider Stationen war 9549,6 Toisen, und somit durchlief der Schall 174,9 Toisen oder 1049,4 Fuſs in einer Secunde. Die Correction für 1° C. beträgt 0,321 Toisen, und diesemnach ist die Geschwindigkeit des Schalles bei 10° C. 173,01 Toisen oder 1038,06 Fuſs, auf 0° reducirt giebt dieses aber eine Geschwindigkeit von 169,8 Toisen oder 1018,8 Fuſs [1].

67) Theils Wiſsbegierde, theils das Streben, Versuche dieser Art auch einmal in den Niederlanden anzustellen, vermochten die Professoren G. Moll und A. van Beek solche zu veranstalten, ein Unternehmen, welches durch den Prinzen Friedrich begünstigt und durch den Lieutenant-Colonel Kuytenbrewer durch Ueberlassung der nöthigen Artilleriestücke unterstützt wurde. Der Beobachtungsort war auf einer weiten Ebene in der Gegend von Utrecht, wo zwei niedrige Hügel, der Kooltjesberg und Zevenboompjes, ausgesucht wurden. Auf jener Station waren Moll mit den Lieutenants Renault und Dilg, auf dieser van Beek mit den Lieutenants Sommerton, van den Bylaardt und Seelig, nebst einigen Cadetten und Studirenden, die zugleich mit halfen. Zur Regulirung der Zeit dienten zwei Chronometer der Marine, einer von Arnold, der andere von Knedel, zur Zeitmessung aber zwei Tertienuhren mit konischem Pendel von Pfaffius; auf jeder Station war ferner ein regulirtes Barometer, mehrere gute Thermometer von Dollond und Newman und ein Daniell'sches Hygrometer und zur Bestimmung der Windrichtung dienten Fahnen. Die sämmtlichen Instrumente befanden sich unter Zelten, zum Schieſsen aber hatte jede Station einen 12- und einen 6pfünder.

1 Arago in Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 210.

Zu gröſserer Genauigkeit gaben sich beide Stationen ein Signal durch eine Rackete, daſs alles vorbereitet sey, dann feuerte genau 8^h Abends die Station Zevenboompjes eine Kanone ab und 5 Minuten nachher die zweite, wodurch zugleich der Gang der Chronometer angedeutet wurde, indem der Blitz des Pulvers auf der andern Station genau nach dem Chronometer der dortigen Station notirt und dann um $8^h. 10'$ der Zeit des Chronometers auf der ersten Station auf beiden ein Schuſs abgefeuert wurde. Die Gleichzeitigkeit der Schüsse wurde bis auf einen Unterschied von 1 oder 2 Secunden erhalten, allein am 23., 24. und 25. Juni 1823 hörte man zu Kooltjesberg keinen von den Schüssen der andern Station, ungeachtet 6 ℔ Pulver genommen wurden; am 26. hörte man dort alle Schüsse, aber keinen zu Zevenboompjes; als aber der Wind sich änderte, hörte man mehrere Schüsse auf beiden Stationen. Hierdurch zeigte sich indeſs ein für solche Versuche sehr wichtiger Umstand, nämlich daſs bloſs gleichzeitige Schüsse auf beiden Stationen das Problem über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung genügend zu entscheiden vermögen, denn die reducirten Beobachtungen an den ersten Tagen gaben Unterschiede von $\frac{1}{51}$, statt daſs die an den letzten nur bis $\frac{1}{101}$ stiegen. Die Hauptpuncte zur Bestimmung des Abstandes beider Stationen wurden aus Krayenhoff's geodätischen Messungen genommen, die genaue Entfernung derselben aber durch trigonometrische Operationen erhalten. Ueber alles dieses, die gesammten Resultate der Beobachtungen und die zur Correction derselben genommenen Gröſsen giebt der abgestattete Bericht die genaueste, ins Einzelne gehende Auskunft[1], so daſs nach der schärfsten Prüfung diese Versuche unter allen übrigen bei weitem den ersten Rang einnehmen und zur definitiven Entscheidung der Aufgabe dienen können. Es ist dann nach diesen die auf 0° Temperatur und trockene Luft reducirte Geschwindigkeit des Schalles 332,049 Meter oder 1022,194 par. Fuſs oder 1089,7445 englische F.

Das Verhältniſs, in welchem der Schall durch den Einfluſs der Temperatur beschleunigt wird, ist oben §. 66. bereits angegeben, es kommt indeſs noch der Factor wegen des

1 Phil. Trans. 1824. p. 424. Daraus in G. LXXXI. 351. 469.

Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre hinzu, weil die Luft durch den beigemischten Wasserdampf dünner wird. Heiſst dann der corrigirte Barometerstand B, die Temperatur in Graden der hunderttheiligen Scale t, die Spannung des Wasserdampfes nach der Angabe des Hygrometers F, die beobachtete Geschwindigkeit des Schalles V, die corrigirte V′, so ist

$$V' = \frac{V}{\sqrt{(1+0{,}00375\,t)} \times \sqrt{(1-0{,}37651\,\frac{F}{B})}}.$$

Bei den angegebenen holländischen Versuchen war am 27. Juni V = 340,06 Meter; t = 11°,16; F = 0,00925307 Meter; B = 0,74475 Meter; am 28sten V = 339,34 Meter; t = 11°,215; F = 0,00840465 Meter. Jene ersten Werthe in die Formel substituirt geben V′ = 332,38 Meter, die letzteren V′ = 331,72 Meter, der Unterschied beträgt 0,66 Meter oder $\frac{1}{503}$ des Ganzen[1].

Viele Versuche über die Fortpflanzung des Schalles stellte Goldingham[2] zu Madras an, indem er das Abfeuern der Kanonen des Forts beobachtete. Seine Versuche gehören zwar nicht zu den genauesten, geben aber dennoch einige interessante Resultate. Die Zeit wurde mit zwei Chronometern gemessen, welche 100 Schläge in 40 Secunden gaben, die Kanonen aber waren 24pfünder mit 8 ℔ Pulver geladen. Da die Beobachtungen eine lange Zeit hindurch fortgesetzt wurden, so änderte sich der Wind oft, und hiernach lieſs sich sein Einfluſs messen. Wiederholte genaue Messungen gaben die Entfernungen 29547 und 13932,3 engl. Fuſs, wonach die Uebereinstimmung der für beide ungleiche Gröſsen gefundenen Werthe beweist, daſs die Bewegung des Schalles eine gleichförmige ist. Aus der groſsen Reihe von Beobachtungen erhält man aber kein so genaues Resultat, als andere bereits erwähnte geben, worüber jedoch erst dann zu entscheiden wäre, wenn man sie auf gleiche Weise, als bei jenen geschehn ist, corrigiren wollte, was mir bei dem ungewissen Erfolge deswegen nicht nöthig scheint, weil die Frage selbst

1 Bydragen to de natuurkund. Wetenskapen. Amst. 1826. N. III. p. 191.

2 Phil. Trans. 1823. P. I. p. 96. Galbraith in Philos. Magaz. or Annals T. LXVI. 109.

schon hinlänglich entschieden ist. Im Mittel aus allen Beobachtungen erhält man 1142,34 engl. Fuſs für 1 Secunde, welche Gröſse jedoch nach dem Barometer-, Thermometer- und Hygrometerstande erst corrigirt werden muſs. Wird diese Correction für die eine Reihe von Beobachtungen, die im Mittel 1142,18 engl. Fuſs giebt, nach der Art vorgenommen, wie dieses durch Goldingham selbst geschehn ist, wonach 1,2 Fuſs für 1° F., 1,4 Fuſs für 1° des Hygrometers und 9,2 F. für 0,1 Zoll des Barometers gerechnet werden, so erhält man, den Barometerstand von $0^{m},766 = 30,158$ engl. Zoll als normal angenommen, für 29,992 engl. Zoll Barometerstand, 84°,11 F. Temperatur und 19° des Hygrometers die corrigirte Geschwindigkeit = 1079,65 engl. Fuſs oder 1013 par. F. als corrigirte Geschwindigkeit des Schalles in 1 Secunde. Wird der gefundene Werth nach der oben mitgetheilten Formel corrigirt, so ist $V = 348,138$ Meter, $B = 0,7622$ Meter, $t = 28°,95$ C., $F = 0,00408$, und man erhält $V' = 331,00$ Meter oder 1019 Fuſs.

Neuerdings sind auch in den österreichischen Staaten solche Schallversuche durch Myrbach und Stampfer zwischen Unsterberg und Mönchsstein unweit Salzburg angestellt worden[1]. Die Entfernung der Stationen betrug 30601 Fuſs, und als Resultat ergab sich eine Geschwindigkeit des Schalles von 1025,9 Fuſs n einer Secunde. Sie haben den Vorzug vor andern, daſs ler Höhenunterschied beider Beobachtungsorte 4198 par. Fuſs ei einer gegen den Horizont geneigten absoluten Entfernung on 30601 par. Fuſs betrug, und zeigen also, daſs diese schiefe ichtung keinen Einfluſs auf die Schallgeschwindigkeit hat.)ie Versuche von Gregory[2] zu Woolwich sollten dazu dieen, den Einfluſs des Windes auszumitteln. Die Zeit wurde urch ein von Hardy erfundenes Instrument gemessen, welhes Zehntel von Secunden angab, allein die Standlinie beug nur 6550 engl. Fuſs.

Alle bisher namhaft gemachte Versuche wurden bei mitt-

1 Jahrbücher des Wiener polytechn. Instituts. Th. VII. S. 23. ergl. Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VIII. p. 424.

2 Philos. Magaz. T. LXIII. Biblioth. Brit. XXVII. p. 264. onthly Magaz. 1824. Aug. p. 59. Transact. of the Cambr. Phil. Soc. . II. P. I. p. 119.

lerer und selbst hoher Temperatur angestellt, keine derselben selbst nur bei einer Wärme unter dem Gefrierpuncte des Wassers. Um so schätzbarer müssen daher diejenigen erscheinen, wodurch die englischen Reisenden in den kalten Polargegenden die Wissenschaft bereichert haben. Die Anzahl derselben ist nicht gering, auch begünstigte die Stille jener öden Gegenden die Operationen, wenn gleich auf der andern Seite die Handhabung feiner Instrumente bei so hohen Kältegraden fast die menschlichen Kräfte übersteigt. Eine lange Reihe von Beobachtungen machte Kendal[1] in der Nähe des Sclavensees, dessen Höhe 263 engl. Fuſs über dem Meeresspiegel geschätzt wird. Das dabei gebrauchte Thermometer war gut, die Uhr von Massey zu Liverpool war zum Arretiren eingerichtet, zeigte 0,1 Sec. und konnte bis 0,01 Sec. geschätzt werden[2]; nur einmal blieb sie bei gröſster Kälte stehn. Die Standlinien, meistens 5280 engl. Fuſs lang, die geringste 2640, die gröſste 6084 engl. Fuſs, waren mit hölzernen Stangen gemessen. Nehmen wir zuerst die Resultate so, wie sie in englischem Maſse ausgedrückt sind, so war die Geschwindigkeit bei 28° bis 27° F. im Mittel 1118 F., 1122 F., 1114 F., 1102 F., 1104,3 engl. Fuſs. Bei 10° bis 3° war sie 1089 F., von — 20° bis — 10° war sie 1088, von — 2° bis — 4° war sie 1079, bei — 35°,8 war sie 1036,08 und wurde durch den Wind um 17,3 Fuſs beschleunigt, bei — 41° F. endlich war sie 1030,3 und die Wirkung des Windes betrug 15,1 Fuſs. Wenn man die Grade der Fahrenheit'schen Scale in hunderttheilige verwandelt und die erhaltenen mittlern Resultate uncorrigirt nimmt, so ergeben sich folgende durch den Einfluſs der Temperatur erzeugte Gröſsen.

---

1 Narrative of a second Expedition to the shores of the Polar-See in the Years 1825, 26 and 27 by John Franklin. Lond. 1828. 4. App. IV.

2 Diese Angabe schlieſst eine Unmöglichkeit in sich. Wer jemals mit einer Tertienuhr experimentirt hat, muſs überzeugt seyn, daſs die Zeit durch diese mechanisch zwar in noch kleinere Theile getheilt werden kann, an eine Schätzung dabei aber gar nicht zu denken ist. Kann man also bei dieser die 60stel Secunden, die der Zeiger zeigt, nicht einzeln ablesen, so ist es noch viel weniger möglich, 100stel Secunden bloſs zu schätzen.

Digitized by Google

Temperatur 100thl. Sc.	Geschwindigkeit in engl. Fuſs	Unterschied für 1° F.
— 2°,50	1112	
		1,15
—14°,70	1089	
		1,15
—19°,44	1079	
		1,28
—37°,67	1036,1	
		1,09
—40°,56	1030,3	

Das Mittel aus allen Beobachtungen giebt 1,17 Fuſs Beschleunigung für 1° F., von welchem mittleren Werthe die einzelnen Gröſsen so wenig abweichen, daſs hiernach der Einfluſs der Temperatur bis zu den höchsten Kältegraden als sich selbst stets gleichbleibend zu betrachten ist.

Der Barometerstand und die Grade des Hygrometers sind nicht angegeben. Werden daher die diesen zugehörigen, ohnehin ganz unbedeutenden Correctionen weggelassen, die gefundenen Gröſsen dagegen auf Meter reducirt und für die Temperatur corrigirt, so erhält man folgende Werthe.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeit in 1″. uncorrigirte	corrigirte.
— 2°,50	338,938	340,57
— 14,70	331,928	341,47
— 19,44	328,880	341,93
— 37,67	315,803	340,79
— 40,56	314,037	341,04.

Diese Werthe stimmen zwar insgesammt sehr genau unter einander überein, sind jedoch alle zu groſs, so daſs sie mit einem constanten Fehler behaftet seyn müssen, der bei einer genauern Correction vielleicht wegfallen oder mindestens geringer werden würde.

Bei dem berühmten Winteraufenthalte der englischen Reisenden auf der Insel Melville veranstaltete Capt. Parry[1] in Verbindung mit Lieut. Nias und Fischer mehrere Reihen von Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles. Sie bedienten sich dabei der auf dem Schiffe befindlichen Chrono-

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 239.

Digitized by Google

meter und maſsen auf dem Eise mehrere Standlinien mit Stangen, deren Gröſse 2880 engl. F., 5632 F., 5643 F., 5645 und 8466 engl. Fuſs betrug[1]. Die aus den einzelnen Versuchsreihen erhaltenen mittlern Werthe nebst den ihnen zugehörigen Temperaturen waren bei — 41°,3 F. = 985,9 engl. F., bei — 33°,3 F. = 1011,2, bei — 27°,2 = 1019,2, bei — 21° = 1031, bei — 2° = 1039,8, bei 33°,3 = 1069,9 engl. Fuſs. Die Vergleichung der höchsten und tiefsten Temperaturen giebt 1,126 engl. Fuſs für 1° F. Parry vergleicht diese Gröſse mit derjenigen, welche Goldingham zu Madras gefunden hat, nämlich 1,35 engl. F. für 1° F. Werden die erhaltenen Werthe auf Meter reducirt und auf gleiche Weise, als eben geschehn ist, für die Temperaturen corrigirt, so giebt dieses folgende Resultate.

Temperaturen Cent. Gr.	Geschwindigkeiten in 1″ uncorrigirte	corrigirte.
— 0°,72	326,100	325,66
— 19,00	316,932	328,86
— 29,45	314,250	333,18
— 32,80	310,653	331,72
— 36,28	308,214	331,60
— 40,72	300,503	326,46.

Diese Werthe kommen der Wahrheit so nahe, daſs man kaum voraussetzen darf, eine schäfere Berechnung, wobei zugleich auf den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre Rücksicht genommen würde, könne bei so niedriger Temperatur und trockner Luft die Unterschiede noch mehr verschwinden machen; auf jeden Fall geht aus der gegebenen Zusammenstellung der sämmtlichen, gleichmäſsig berechneten Versuchsreihen hervor, daſs der Einfluſs der Temperatur auf die angegebene Weise corrigirt werden kann und keinem andern Gesetze unterliege, als worauf diese gegründet ist. Hierüber entscheidet der Umstand, daſs die in der Mitte liegenden Werthe der Wahrheit am nächsten kommen, die beiden äuſsersten aber am stärksten abweichen. Im Mittel aus allen Versuchen beträgt die Ge-

1 Wenn diese Versuche keine gleich groſse Genauigkeit haben, als die meisten der zunächst folgenden, so liegt der Grund hiervon zum Theil wohl in der zu geringen Länge dieser Standlinien.

schwindigkeit des Schalles in 1 Sec. 329,152 Meter oder 1013,3 Fuſs.

Unter die wichtigsten Versuche über die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles gehören diejenigen, die durch Capt. Parry und Lieut. Foster bei ihrem Winteraufenthalte zu Fort Bowen unter 73° 13′ 39″ N. B. und 88 54′ 55″ W. L. von Greenwich 1824 und 25 angestellt wurden[1]. Die dazu gebrauchte Kanone war ein 6pfünder, die trigonometrisch gemessene Standlinie war nach Parry 12892,96 und nach Foster 12892,82, also im Mittel 12892,89 engl. Fuſs; zur Zeitmessung dienten Taschen-Chronometer, die Richtung war S. 71° 48′ O., der Wind bloſs am 4. Juni stark; beobachtet wurde am 24. Nov. und 8. Dec. 1824, am 10. Jan., 7., 17., 21. Febr., am 2. und 22. März, am 3. und 4. Juni 1825, und dabei folgende Gröſsen gefunden.

Barom. engl. Z.	Therm. Fahr.	Wind	Beobachtete Zwischenzeit Parry	Foster	Mittel	Geschw. in 1″
29,841	— 7°,0	O. S. O.	12,3525	12,4300	12,3912	1040,49
29,561	— 9,0	N. N. O.	12,3310	12,5266	12,4288	1037,34
30,268	— 37,0	O. S. O.	12,5889	12,4700	12,5290	1029,01
29,647	— 24,5	N. O.	12,6390	12,6167	12,6278	1020,99
29,598	— 18,0	Windst.	12,3720	12,4400	12,4060	1039,25
29,735	— 37,5	desgl.	12,8167	12,7067	12,7617	1010,28
30,398	— 38,5	östl.	12,6400	12,7800	12,7100	1014,39
30,258	— 21,5	westl.	12,4000	12,7167	12,5583	1026,64
30,118	+ 33,5	westl.	11,7333	11,7440	11,7387	1098,32
30,102	+ 35,0	S. O.	11,5889	11,4733	11,5311	1118,10

Hierbei sind zwar die Barometerstände angegeben, es fehlen doch die Hygrometerbeobachtungen; allein man übersieht icht, und Moll[2] hat dieses auch durch Berechnung gezeigt, ıſs die Aenderung, die hieraus bei so tiefen Temperaturen ervorgehn kann, zu unbedeutend ist, als daſs es nöthig wäre,

1 Journal of a third Voyage for the discovery of a Northest Passage cet. under the ordres of Capt. W. E. Parry. Lond. 26. 4. App. p. 86.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97. Im Auszuge in Poggendorff's Ann. V. 371.

sie zu berücksichtigen. Werden demnach die beobachteten Gröſsen auf Centesimalgrade und Meter reducirt, so erhalten wir folgende Werthe.

Wind	Temperatur		Geschwindigkeit in 1″	
	Fahr.	Cent.	uncorr.	corrig.
Schwacher O. S. O.	— 7°,0	—21°,67	317,14	330,87
Stürmisch N. N. O.	— 9,0	—22,78	316,18	330,62
Leicht O. S. O.	—37,0	—38,34	313,64	338,95
Leicht N. O.	—24,5	—31,39	311,20	331,81
Windstill	—18,0	—27,78	316,76	334,67
Windstill	—37,5	—38,61	307,93	332,98
Leicht östlich	—38,5	—39,16	309,19	334,15
Leicht westlich	—21,5	—29,72	312,92	331,96
Leicht östlich	+33,5	0,83	334,77	334,25
Stark S. O.	+35,0	1,67	340,80	339,73

Moll bemerkt mit Recht, daſs man sich über die groſse Genauigkeit dieser Versuche wundern muſs, wenn man bedenkt, unter was für nachtheiligen Bedingungen sie angestellt wurden, nämlich bei einer so enormen Kälte, statt daſs alle übrige, mit Ausnahme der beiden zuletzt erwähnten Reihen, unter günstig gewählten Umständen, meistens in heiteren und warmen Nächten, ausgeführt wurden. Das arithmetische Mittel aus allen beträgt 334 Meter für 1 Secunde; wenn man aber die beiden in einer Temperatur über dem Gefrierpuncte des Wassers erhaltenen Resultate und das des dritten Versuchs ausschlieſst, welches bei fast gleicher Temperatur, als das des sechsten, erhalten wurde und sich mit diesem verglichen offenbar als zu groſs zeigt, so erhält man als Mittel = 332,44 Meter, welche Gröſse von der durch die holländischen Physiker gefundenen und als normal zu betrachtenden um nicht mehr als + 0,293 Meter abweicht. Läſst man dagegen bloſs die letzte Beobachtung weg, so ist der mittlere Werth aus allen übrigen = 333,36 Meter. Moll findet hierfür nach einer etwas veränderten Methode der Berechnung 333,15 Meter und giebt überhaupt folgende Zusammenstellung der durch die vorzüglichsten Messungen gefundenen Resultate.

Die 9 ersten durch Parry und Foster erhaltenen Werthe geben V = 315,42597826 Meter bei — 27°,62 C., also ist

V″ = - - - - - -	333,15	Met.
Die 5te und 6te Versuchsreihe geben V″ =	333,71	—
die achte und neunte - - =	332,85	—
die holländischen Physiker fanden -	332,05	—
Stampfer und v. Myrbach - -	333,25	—
die französ. Akademiker, letzte Messung	331,05	—
Benzenberg - - - - - -	333,70	—
Espinosa und Bauza in Chili - -	356,14	—
Olinthus Gregory in England - -	335,14	—
die französischen Akademiker, erste Messung	332,93	—

Diese Bestimmungen sind jedoch nicht alle von gleichem Werthe, und man würde sich daher von der Wahrheit entfernen, wenn man aus allen das arithmetische Mittel nehmen wollte. Bei weitem den gröſsten Werth haben die holländischen Versuche wegen der Beobachtungsmethode und der gebrauchten Instrumente. Die englischen Versuche sind zwar bewunderungswürdig genau, allein bei den nachtheiligen Bedingungen, unter denen sie angestellt wurden, eignen sie sich weniger zur Lösung des fraglichen Problems im Allgemeinen, als vielmehr zur Begründung der Ueberzeugung, daſs der Einfluſs der Temperatur bei den tiefsten Kältegraden sich stets gleich bleibt und auf gleiche Weise als bei gröſserer Wärme corrigirt werden kann. Am meisten verdienen die durch die französischen Akademiker gefundenen Werthe berücksichtigt zu werden, da die Versuche sowohl rücksichtlich der Beobachter als auch der gebrauchten Instrumente und der gewählten Methode auf einen hohen Grad von Genauigkeit gerechte Ansprüche haben. Es scheint mir daher am besten, bei dem überwiegenden Werthe der durch die holländischen Physiker erhaltenen Resultate die übrigen nur als zur Controle dienend zu betrachten, die eigentliche Bestimmung aber aus jenen zu entnehmen. Indem aber Moll aus seiner Berechnung derselben die corrigirte Geschwindigkeit = 332,05 Meter, Simons ber (§. 72.) = 332,244 Meter findet, so ist das Mittel aus beiden Werthen, also 332,147 Meter, als der Wahrheit am nächsten kommend zu betrachten. *Hiernach durchläuft also der Schall die trockene oder nur in einem geringen Grade feuchte Luft bei mittlerem Barometerstande und bei* 0° *C.*

Digitized by Google

Temperatur mit einer Geschwindigkeit von 332,15 *Meter oder* 1022,5 *par. Fuſs in einer Sexagesimalsecunde mittlerer Sonnenzeit*[1].

b) Theorie der Schallfortpflanzung durch atmosphärische Luft.

68) Es scheint mir zweckdienlich, vor einer Untersuchung der sonstigen Bedingungen, die auf die Fortpflanzung des Schalles einen Einfluſs ausüben, eine Uebersicht der theoretischen Betrachtungen vorauszuschicken, durch die man die Geschwindigkeit der Schallbewegung in der Luft zu bestimmen gesucht hat. Soviel unterliegt vorerst keinem Zweifel, daſs die Fortpflanzung des Schalles durch eine Wellenbewegung geschieht, die derjenigen, wodurch der Schall erzeugt wird, gleich ist; auch durchläuft eine Schallwelle beim Fortgange in der nämlichen Zeit einen gegebenen Raum, in welcher sie bei der Erzeugung des Tones diesen nämlichen Raum in der tönenden Pfeife zurücklegt. Inwiefern die Erzeugung und Fortpflanzung des Schalles in festen Körpern hiermit Aehnlichkeit habe, wird später gezeigt werden. Wir müssen uns also die Wellenbewegung bei der Fortpflanzung des Schalles durch die Luft gerade so vorstellen, als sie oben (B) versinnlicht worden ist, wobei die Wellen der einzelnen Töne die nämliche Länge[2] beibehalten, die sie in den Pfeifen zwischen zwei Schwingungsknoten einnehmen, obgleich es schwer ist, diese Vorstellung auf den unbegrenzten Raum und die Bewegung von einem Puncte aus in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung überzutragen. Es folgt hieraus aber, daſs in Gemäſsheit der Wellenbewegung überhaupt die Fortpflanzung des Schalles nicht mit einem Fortschreiten der Luft (einem *motus progressivus*) verbunden ist, daſs vielmehr diese sich in Ruhe befindet, die feinen Bebungen abgerechnet, die auch in den tönenden Luftsäulen der Pfeifen gefunden werden und andere feste Körper zum Mittönen bringen oder erzittern machen.

---

1 Will man sich einer schärferen Berechnung überheben, so kann man für 1° C. Temperatur 1,926 in genähertem Werthe annehmen.

2 Ueber die Ausdrücke „Länge und Breite der Wellen" s. §. 3. c. Anm.

Digitized by Google

Daſs hierbei der Schall zu seiner Fortpflanzung einer eigenthümlichen unbekannten Flüssigkeit bedürfe, wie Giroa de Buzareingues[1] annehmen will, ist der Sache zu wenig angemessen, als daſs es eine Widerlegung erfordern könnte.

69) Der erste, welcher eine Theorie dieser Wellenbewegung aufgestellt hat, aus welcher dann die Geschwindigkeit der Fortpflanzung folgt, ist Newton[2]. Nach einer allgemeinen Darstellung dieser Art von Bewegungen zeigt er, daſs die Geschwindigkeiten der in einem elastischen Mittel fortgepflanzten Schläge (*pulsus*, so viel als Wellen) sich direct wie die Quadratwurzeln der Elasticitäten und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der Dichtigkeiten verhalten, ein für die Bestimmung der Tonhöhen, die durch die Schwingungen ungleicher elastischer Flüssigkeiten in den nämlichen Pfeifen erzeugt werden, höchst wichtiges Axiom. In gleich dichten und gleich elastischen Medien gehn daher die Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fort. Der Hauptsatz der Theorie ist dann, daſs die hin und zurück oscillirenden Theilchen der elastischen Flüssigkeiten nach den Gesetzen der Schwungbewegung der Pendel beschleunigt und retardirt werden, wodurch das Mittel gegeben ist, aus der Dichtigkeit und Elasticität der Flüssigkeit die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Schallwellen zu finden. Es müssen nämlich die Pulsus der Schallwellen in der nämlichen Zeit den Umfang des Kreises durchlaufen, in welcher ein Pendel von der Länge des Durchmessers dieses Kreises eine ganze Schwingung vollendet, vorausgesetzt daſs das Medium überall gleichmäſsige Dichtigkeit habe. Die Zeit t einer ganzen Pendelschwingung ist aber $= \pi \sqrt{\frac{2l}{g}}$, wenn die Länge des Secundenpendels $= l$, der Fallraum eines Körpers im leeren Raume und im Niveau des Meeres g ist und π die Ludolph'sche Zahl bezeichnet[3]. In der nämlichen Zeit durchläuft die Schallwelle den Raum $2l$, und es findet also für eine Secunde das Verhältniſs $2l : \pi \sqrt{\frac{2l}{g}} = \sqrt{2lg}$ statt. Es ist aber $\sqrt{2lg}$ der Ge-

1 Annales de la Soc. Linn. de Paris. T. V. p. 191.
2 Princ. Lib. II. Sect. VIII. prop. 42 bis 50.
3 S. *Pendel*. Bd. VII. S. 309.

schwindigkeit gleich, welche der Fallhöhe $= \frac{1}{2} l$ zugehört, mithin der Geschwindigkeit, welche ein Körper durch den Fall von einer Höhe erhalten haben würde, die der halben Atmosphäre von gleicher Dichtigkeit, als diese im Niveau des Meeres hat, gleich kommt. Letztere läſst sich durch die Länge der Quecksilbersäule im Barometer und das Verhältniſs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber nach hydrostatischen Gesetzen finden, und diesemnach muſs der Schall in einer Secunde den Raum durchlaufen, welcher durch die Formel $\sqrt{2pBg}$ gegeben ist, wenn p das spec. Gewicht des Quecksilbers zur Luft, B die Barometerhöhe und g den Fallraum eines frei fallenden Körpers in einer Secunde bezeichnet. Newton nimmt in englischem Maſse das Verhältniſs des spec. Gewichts der Luft zum Quecksilber

$$= 1 : 13{,}5 \times 850 = 1 : 11617,$$

die Barometerhöhe = 30 Zoll, wonach also

$$pB = \tfrac{30}{12} + 11617 = 29042 \text{ Fuſs}$$

beträgt, und aus der Länge des Secundenpendels = 39,2 Zoll setzt er g = 16,12 Fuſs, so daſs also die Geschwindigkeit des Schalles in einer Secunde

$$V = \sqrt{(2 \times 29042 \times 16{,}12)} = 968 \text{ Fuſs}$$

gefunden wird. In den spätern Ausgaben wird das Verhältniſs des specif. Gewichts $= 1 : 13\frac{2}{3} \times 870 = 1 : 11890$ gesetzt, wonach also $pB = 29725$ und $V = 979$ Fuſs wird.

Schon damals wuſste man aus einigen unvollkommenen Versuchen, namentlich wo die von Mersenne bekannt waren, daſs die Erfahrung die Schallgeschwindigkeit gröſser angebe, und Newton setzte daher eine Correction hinzu, die bei der Unbestimmtheit, womit sie hingestellt ist, ihrem eigentlichen Sinne nach nicht leicht verstanden wird. Er sagt nämlich, man müsse bei der Bestimmung der Schallgeschwindigkeit noch den Einfluſs der festen Bestandtheile der Luft berücksichtigen, in denen die Fortpflanzung ohne Zeitverlust (*in instanti*) geschehe. Angenommen die Dicke dieser Bestandtheile verhalte sich zu den Zwischenräumen wie 1 zu 9, so müsse die Geschwindigkeit dadurch um $\frac{1}{9}$ vermehrt werden und also 1076 Fuſs in 1 Secunde betragen. Das hier angenommene Verhältniſs scheint mir nicht willkürlich gewählt zu seyn, sondern auf dem Verhältnisse der Dichtigkeit der Luft zum Wasser z

beruhn. Betrüge nämlich der lineare Abstand der festen Theile der Luft die neunfache Dicke der letzteren, so müſste eine Verdichtung des Luftvolumens zum 9^3fachen die Luft in einen festen oder tropfbar flüssigen Körper verwandeln; es giebt aber $9^3 = 729:1$ das Dichtigkeitsverhältniſs des Wassers zur Luft so genau an, daſs für ganze Zahlen diese Bestimmung der Wahrheit am nächsten kommt. Die hieraus entnommene Correction würde aber zu der Folgerung führen, daſs der Fortgang des Schalles durch feste Körper instantan erfolge oder keine meſsbare Zeit erfordere, unmittelbare Berührung ihrer Elementartheilchen und keinen Zeitverlust beim Uebergange des Schalles von dem einen zum andern derselben vorausgesetzt[1]. Abgerechnet aber, daſs bei der angenommenen Verdichtung noch keine absolute Dichtigkeit erhalten würde und daher der Abstand der Atome gröſser angenommen werden müſste, streitet jene Vorstellung ganz gegen die Natur der Schallwellen, die eine successive Verdichtung und Verdünnung in den Körpern jeder Art voraussetzen, so daſs in den Atomen an sich, sofern sie einer Verdichtung und Verdünnung nicht fähig sind, auch keine Schallfortpflanzung statt finden könnte. Richtig ist dagegen eine zweite durch Newton angegebene Correction, die auf der Anwesenheit der Dämpfe in der atmosphärischen Luft beruht, wodurch die Dichtigkeit derselben vermindert wird, da die Geschwindigkeiten der Schallfortpflanzung sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten verhalten. Wäre demnach in 11 Theilen Luft 1 Theil Wasserdampf enthalten, so müſste die Geschwindigkeit im Verhältniſs von $\sqrt{10} : \sqrt{11} = 20:21$ gröſser werden, mithin kämen zu 1088 Fuſs noch 54 hinzu und der in 1 Secunde durchlaufene Weg betrüge also 1142 engl. Fuſs.

Newton's Hypothese wurde durch L. Euler[2] wegen des nichtigen Einwurſs bestritten, daſs nach derselben die Luft nur um das Zehnfache ihres Volumens zusammendrückbar seyn müsse. Dennoch trat er der Theorie im Ganzen bei und

---

1 Prechtl in G. XXI. 449. vertheidigt diese Hypothese Newton's.

2 Conjectura physica circa propagationem soni ac luminis. Berol. 1750. 4.

Digitized by Google

nahm die gefundene Gröſse = 979 Fuſs als richtig an, glaubte aber, die Geschwindigkeit der Schläge werde durch die folgenden Schläge vermehrt, so daſs also die Geschwindigkeit von der Menge der Schläge (*frequentia pulsuum*) abhängen, also bei hohen Tönen gröſser als bei tiefen seyn müsse, was der Erfahrung widerstreitet, wie Euler[1] später selbst einsah und daher der genannten Theorie im Allgemeinen beitrat. Gabriel Cramer[2] hielt diese Theorie für unhaltbar, weil sie zu anderweitigen, mit der Erfahrung nicht übereinstimmenden Folgerungen führe. La Grange[3] glaubte die Abweichung der Theorie von der Erfahrung daraus erklären zu können, daſs die bereits comprimirte Luft durch Vermehrung der zusammendrückenden Kraft weniger zusammengedrückt werde, Sulzer[4] dagegen nimmt gerade das Gegentheil an; beide Voraussetzungen sind jedoch mit der Erfahrung nicht übereinstimmend, da nach dieser das Mariotte'sche Gesetz innerhalb der angegebenen Grenzen allerdings zulässig ist. Chladni[5] und nach ihm Fischer[6] suchen die Ursache der Abweichung der Theorie von der Erfahrung in einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Gasmischung, die in der atmosphärischen Luft gegeben ist, was jedoch im Ganzen nichts sagt; Lambert[7] wollte sie aus beigemengten heterogenen Bestandtheilen erklären, die das Gewicht der Luft vermehrten, nicht aber ihre Elasticität. Man kann aber alle diese Bemühungen nur als miſslungene Versuche betrachten.

70) Verschiedene Gelehrte haben mit einem groſsen Aufwande derjenigen Hülfsmittel, die die höhere Analysis darbietet, eine Theorie der Schwingungen aufzufinden gesucht, wodurch die Fortpflanzung der Schallwellen bewirkt wird. Die vorzüglichsten und gelehrtesten Abhandlungen hierüber

---

1 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. §. 42. Comm. Acad. Petrop. T. XVI.

2 Newtoni Princ. ed. Le Sueur et Jacquier ad L. II. Prop. XLVII. p. 364.

3 Mélanges de Philos. et de Math. de la Soc. de Turin. T. II. P. 2. p. 150.

4 Mém. de l'Acad. de Berl. 1753.

5 Akustik. S. 226.

6 Berliner Denkschriften 1816 u. 17. S. 63.

7 Mém. de Berlin. 1768. p. 70. G. XLIV. 240.

Digitized by Google

sind von L. LA GRANGE[1], L. EULER[2], POISSON[3], RICHARD VAN REES[4], W. HERSCHEL[5], und mehrere kürzere, z. B. von IVORY[6], die rücksichtlich der Darstellung mit denen von POISSON sehr nahe übereinstimmen, von GALBRAITH[7], der hauptsächlich der Behandlung des Gegenstandes durch IVORY folgt, von BIOT[8], TREMBLEY[9] und Andern. Wie verschieden aber auch die Arten der Behandlung dieses schwierigen Problems sind, die ich hier wegen ihrer Ausführlichkeit und der Tiefe des in ihnen herrschenden Calcüls mitzutheilen billig Anstand nehme, so führen sie doch insgesammt zu dem Resultate, daſs nach NEWTON's richtiger Hypothese die Geschwindigkeit des Schalles in trockner Luft in 1 Secunde der Quadratwurzel aus dem Producte der Barometerhöhe in die Fallgeschwindigkeit einer Secunde dividirt durch das Dichtigkeitsverhältniſs der Luft zum Quecksilber gleich ist. Der Ausdruck hierfür ist also

$$V = \sqrt{\frac{2gB}{\delta}}.$$

Da in diesem Werke einmal aus genauen Messungen bestimmte Gröſsen angenommen sind, so entlehne ich diese hier zur Substitution in diese Formel. Nach den Fallgesetzen[10]

1 Mém. de Turin. T. I. p. 247. und Miscellan. Taurin. T. II.

2 Ebend. T. II. u. III. und Mém. de l'Acad. de Berlin. 1759. p. 185. 210. 241. Desgl. ebend. 1765. p. 335.

3 Mém. de l'Acad. Inst. de France. T. XVIII. p. 121. u. Journ. de l'École Polyt. Cah. XIV. p. 360. Vergl. Ann. Chim. et Phys. XXII. p. 5.

4 Dissert. physico-math. inauguralis de celeritate soni per fluida elastica propagati cet. Traj. ad Rhen. 1819. 4.

5 Encyclop. metropolitana. Art. Sound.

6 Philosophical Magaz. and Journ. T. LXIII. p. 426. T. LXVI. p. 1. und in Philos. Magaz. or Ann. T. I. p. 249. Vergl. AVOGADRO in Memorie della Reale Accad. delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237. IVORY's Darstellung ist heftig angegriffen worden durch H. MEIKLE in Quarterly Journ. of Sc. New Ser. N. VII. p. 124.

7 Philos. Magaz. and Journ. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. Phil. Magaz. or Ann. T. I. p. 336.

8 Journ. de Phys. T. LVII. p. 173. Vergl. Traité de Phys. T. II. p. 6 ff. G. XVIII. 385.

9 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1801.

10 S. *Fall.* Bd. IV. S. 9.

Digitized by Google

ist der Fallraum in einer Secunde $g = \frac{1}{2} L. \pi^2$, wenn L die Länge des einfachen Secundenpendels und π das Kreisverhältniſs bezeichnet. Die Länge des Secundenpendels unter 45° N. B. ist aber[1] L = 0,993534 Meter oder 440,429754 Linien, mithin ist 2g = 9,8058 Meter oder 30,186 par. Fuſs. Das Dichtigkeitsverhältniſs des Quecksilbers gegen Luft[2] bei 0° C. unter dem 45sten Grade der Breite im Spiegel des Meeres und bei 0,76 Meter oder 336,905 par. Lin. Barometerhöhe ist aber 10466,8, wobei dann B oder die Barometerhöhe von selbst gegeben ist. Werden diese Gröſsen in die angegebene Formel substituirt, so ergiebt sich

$$V = 279{,}29 \text{ Meter oder } = 859{,}77 \text{ par. Fuſs},$$

ein Werth, welcher weit geringer ist, als der durch Erfahrung gefundene. Dieser Werth von V gilt jedoch bloſs für die angegebenen Bedingungen und ändert sich, wenn diese anders werden. In Beziehung auf diese Correctionen ist zu bemerken, daſs der Unterschied der geographischen Breite nicht von directem Einflusse ist, vielmehr vernachlässigt werden kann, da er bei der Bestimmung von g und von δ in entgegengesetztem Sinne vorkommt, auch die Veränderung des Barometerstandes fällt dadurch weg, daſs die Dichtigkeit der Luft als Hauptfactor bei der Bestimmung von δ in gleichem Verhältnisse abnimmt, als die Quecksilberhöhe im Barometer wächst. Dagegen ist die Wärme vom bedeutendsten Einflusse, indem die Geschwindigkeiten der Schallwellen wie die Quadratwurzeln aus dem durch Wärme vergröſserten Luftvolumen wachsen (§. 46.). Auſserdem wird die Luft durch die Anwesenheit der Wasserdämpfe leichter und dieses beschleunigt daher den Fortgang des Schalles in ihr. Auf welche Weise die Dichtigkeit der Luft für ihren Gehalt an Wasserdampf corrigirt werden könne, ist bereits gezeigt worden[3], die Ausmittelung dieses Gehaltes geschieht aber vermittelst des Hygrometers[4], und wenn dann auf diese Weise die Spannung des Wasserdampfes gefunden worden ist, so läſst sich nach dem von Gay-Lussac gefundenen Verhältnisse der Dichtigkeiten von Dampf und

---

1 S. *Pendel.* Bd. VII. S. 878.
2 S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1529.
3 S. *Gewicht.* Bd. IV. S. 1499.
4 Vergl. *Hygrometer.* Bd. V. S. 648.

Digitized by Google

Luft $= \frac{10}{16}$ oder $= \frac{5}{8}$, diese Gröſse von der Einheit abgezogen, der Einfluſs des Wasserdampfes finden. Hiernach ist die Formel für die theoretisch zu bestimmende Geschwindigkeit des Schalles in Metern

$$V' = 279{,}29 \sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{\left(1 - 0{,}375\,\frac{f}{b}\right)}}$$

und in par. Fuſs

$$V' = 859{,}77 \sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{\left(1 - 0{,}375\,\frac{f}{b}\right)}},$$

wenn t die beobachtete Temperatur in Centesimalgraden, f die Spannung des Wasserdampfes[1] und b den auf 0° reducirten Barometerstand bezeichnet. Ist eine bei irgend einer Temperatur unter oder über 0° C. und bei vorhandener Feuchtigkeit gemachte Beobachtung gegeben, so wird diese leicht auf den ursprünglichen oder normalen Werth reducirt, indem

$$V = \frac{V'}{\sqrt{(1 + 0{,}00375\,t)} \times \frac{1}{\sqrt{\left(1 - 0{,}375\,\frac{f}{b}\right)}}}$$

ist. Dieser analytische Ausdruck gilt für Meter sowohl, als auch für Pariser Fuſs, wenn in beiden Fällen t in Graden der Centesimalscale und die Gröſsen f und b in dem nämlichen Maſse ausgedrückt werden. Der letzte Factor des Nenners ist allezeit von der Einheit wenig verschieden, denn f ist stets viel kleiner als b, daher $\frac{f}{b}$ ein kleiner Bruch, welcher mit seinem Coefficienten multiplicirt die Einheit nur wenig vermindert, so daſs das ganze Glied des Nenners bei niedriger Temperatur und geringer Feuchtigkeit der Atmosphäre meistens vernachlässigt werden kann. Unter den Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, muſs noch diejenige erwähnt werden, wozu die bekannte *Dalton'sche Theorie* Veranlassung gab. Als nämlich Dalton[2]

---

1 Vergl. Bd. II. S. 351.

2 Manchester Mem. T. V. Ein neues System des chem. Theiles

die Hypotheſe aufgeſtellt hatte, daſs die verſchiedenen expanſibeln Flüſſigkeiten abgeſondert für ſich in der Mengung der atmoſphäriſchen Luft beſtänden, brachte zwar Gough[1] hiergegen ſogleich das Argument vor, daſs dann der Schall in einer jeden dieſer vereinten Atmoſphären mit einer verſchiedenen Geſchwindigkeit fortgeleitet und daher bei einiger bedeutenden Entfernung vervielfacht gehört werden müſſe, Benzenberg[2] dagegen berechnete aus den verſchiedenen Dichtigkeiten der vereinten Atmoſphären, daſs die des Waſſerdampfes gerade ausreiche, um die aus den Verſuchen hervorgehende gröſsere Geſchwindigkeit des Schalles zu erklären. Hierbei muſste er zwar die Dichtigkeit des Waſſerdampfes gröſser annehmen, als dieſelbe ſonſt beſtimmt iſt, jedoch brachte ihn dieſes Argument weniger von ſeiner Anſicht zurück, als vielmehr die triſtigſten Gründe, womit Olbers[3] die Unhaltbarkeit derſelben darthat, deren Mittheilung mir jedoch überflüſſig ſcheint, da die ganze Theorie gegenwärtig als unzuläſſig betrachtet wird. Hube[4] meint, die Geſchwindigkeit des Schalles ſey derjenigen gleich zu ſetzen, womit die Luft in den leeren Raum ſtrömt, alſo 1277 Fuſs in einer Secunde[5]; eine Hypotheſe, die ich nur beiläufig erwähne.

71) Nach oft wiederholten und lange Zeit fortgeſetzten vergeblichen Bemühungen, die Theorie mit der Erfahrung in Einklang zu bringen, ſtellte La Place[6] die Hypotheſe auf, die Vermehrung der Schallgeſchwindigkeit entſtehe durch die Wärme, welche durch die Schallwellen ſelbſt ausgeſchieden würde und die Elaſticität der Luft vermehre. Der groſse Geometer wurde hierauf geleitet durch die Reſultate derjenigen Verſuche, woraus hervorging, daſs jede mechaniſche Zuſammendrückung der elaſtiſchen Flüſſigkeiten Wärme entbinde und jede Ausdehnung dieſelbe in gleichem quantitativen Ver-

---

d. Naturw. von John Dalton. A. d. E. von Wolf. Th. I. S. 170. G. XII. 385. XXI. 382.

1 G. XXI. 403.

2 G. XLII. 156.

3 G. XLIX. 154.

4 Unterricht in der Naturlehre. Leipz. 1801. Th. IV. S. 377.

5 Vergl. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 594.

6 Ann. Chim. et Phys. T. III. p. 238. T. XXIII. p. 1. Am ausführlichſten in Méc. cel. T. V. p. 119.

hältnisse latent mache. Um dieses Problem, welches bereits für einen andern Zweck erörtert werden muſste[1], hier möglichst einfach und leicht darzustellen, lasse ich die damit verbundene Frage über die hierbei thätige Wärme, nämlich diejenige, die den Gasarten ihre Expansion giebt, diejenige, die allen Körpern in verschiedenem Maſse eigen ist, und die sogenannte Wärme des Raumes ganz unerörtert und rede bloſs im Allgemeinen von der Wärme der Gasarten, wovon ein Theil durch Zusammendrückung ausgeschieden wird und eine gleiche Menge sich bei gröſserer Ausdehnung als mangelnd zeigt, beide thermometrisch meſsbar. Diesemnach soll die theoretisch gefundene, wegen der Temperatur und der Feuchtigkeit corrigirte Geschwindigkeit des Schalles mit einem Factor $= \frac{c'}{c}$ oder $= k$ multiplicirt werden, welcher das Verhältniſs der specifischen Wärme der Luft unter einem beständigen Drucke zu ihrer specifischen Wärme bei constantem Volumen ausdrückt. Es ist also fraglich, wie dieser Factor $\frac{c'}{c} = k$ gefunden werde. Hierzu sind im Allgemeinen zwei Methoden anwendbar, die eine, indem man die Factoren c' und c durch eigene Versuche bestimmt, die andere, indem man den Werth von k aus den Resultaten entlehnt, die aus der Erfahrung über die Schallgeschwindigkeit bekannt sind. Beide Methoden sind bisher in Anwendung gebracht worden; die letztere setzt die Richtigkeit der durch La Place aufgestellten Hypothese nebst der theoretisch bestimmten Schallgeschwindigkeit, sowie auch die durch Erfahrung gefundene voraus und sucht dann einen constanten Factor, welcher die durch Versuche gefundenen Werthe den theoretisch bestimmten gleich macht, rücksichtlich der erstern dagegen geht aus dem Resultate der früher hierüber angestellten Untersuchungen[2] hervor, daſs die Bestimmungen der Werthe von c' und c noch sehr schwankend und von einander abweichend sind, auch zeigt sich bei den französischen Gelehrten ein unverkennbares Bestreben, die durch Versuche gegebene Schallgeschwindigkeit möglichst klein, dagegen die Gröſsen c' und c so zu bestimmen, daſs der Quotient groſs genug

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 1048.

2 Art. *Erde* a. a. O.

werde, um den Unterschied zwischen Theorie und Erfahrung verschwinden zu machen.

Alle spätere Untersuchungen über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in atmosphärischer Luft nehmen auf diesen Factor Rücksicht und weichen bloſs in der Darstellung der Sachen oder wohl gar nur in der Wahl der Zeichen von einander ab; es wird daher genügen, bloſs einige der vorzüglichsten ihrem wesentlichen Inhalte nach mitzutheilen, um dadurch einen Ueberblick der verschiedenen Darstellungen zu geben. Die gewöhnliche Bezeichnung der Newton'schen Formel, namentlich bei den französischen Gelehrten, ist

$$V=\sqrt{g\frac{h}{D}},$$

worin V wie oben die Schallgeschwindigkeit in 1 Sexagesimalsecunde, g die mittlere Fallgeschwindigkeit in der nämlichen Zeit (wofür nach der Observanz in diesem Werke oben 2g gesetzt ist), $\frac{h}{D}$ aber die Barometerhöhe und Dichtigkeit der Luft, entweder für 0° C. und den angenommenen mittlern Barometerstand, oder für diejenige Temperatur und Barometerhöhe bezeichnet, welche bei den Versuchen beobachtet wurden. Die Formel kommt also der oben §. 70. mitgetheilten gleich, mit dem einzigen Unterschiede, daſs der Factor für die Correction wegen des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre darin fehlt[1]. La Place[2] bezeichnet g durch ε, die Relation $\frac{h}{D}$ durch h, und erhält demnach als analytischen Ausdruck

$$V=\sqrt{2h\varepsilon}.$$

Für die Beobachtungen der Pariser Akademiker im Jahr 1738 bei 7°,5 C. Temperatur giebt diese Formel 283,4 Meter, statt daſs die Erfahrung 337,2 Meter gab. Clement und Desormes fanden bei ihren erwähnten Versuchen, indem die Differenz der Spannung bei der im Ballon eingeschlossenen Luft 13,81 Millim. betrug, nach Wiederherstellung des Gleichgewichts eine aufs Neue entstehende Verminderung von 3,611 Millimeter. Es ist aber $\frac{13,81}{10,199}=1,354$, und da für die Tem-

1 Vergl. Biot Traité T. II. p. 17.
2 Mécan. cel. T. V. p. 121.

Digitized by Google

peratur = 12°,5 C., wobei dieser Versuch angestellt wurde, $\sqrt{2h\varepsilon} = 286,1$ Meter, so giebt $\sqrt{2h\varepsilon\,\frac{13,81}{10,199}}$ die theoretiſche Schallgeschwindigkeit = 332,9 Meter. Die Erfahrung gab 337,2 Meter für 7°,5, also für 12°,5 corrigirt 340,4 Meter, welches die theoretische Schallgeschwindigkeit um nicht mehr als 7,5 Meter übersteigt.

La Place erhielt die Mittheilung von Resultaten anderer Versuche, die Gay-Lussac und Welter angestellt hatten[1], und die insofern von den erwähnten unterschieden waren, als sich im Ballon ursprünglich verdichtete Luft befand, die durch Oeffnen eines Hahns auf die Elasticität der äuſsern gebracht wurde. Bei dem Versuche betrug der Ueberschuſs des Drucks der Luft im Ballon 16,3644 Millim. und nach dem Auslassen der Luft stieg der Unterschied wieder auf 4,4409 Millimeter. Indem aber während der Dauer des Versuchs der äuſsere Luftdruck 757 Millim. und die Temperatur 13° C. betrug, so war P = 757 Millim., $P' - P = 16,3644$ Millim., $P'' - P = 4,4409$ Millimeter, und also

$$\frac{P' - P}{P'' - P'} = \frac{16,344}{11,9235} = 1,37244,$$

welcher Werth die theoretische Schallgeschwindigkeit = 335,2 Meter giebt und also der durch Erfahrung gefundenen noch näher bringt. Weil jedoch auch hierdurch noch keine völlige Uebereinstimmung erhalten wurde, so fand sich das Längenbureau bewogen, die früheren Schallversuche durch die Mitglieder des Institutes wiederholen zu lassen, was dann auf die oben bereits angegebene Weise geschah. Bei der Berechnung der hierdurch gefundenen Resultate[2] wurde die Fallgeschwindigkeit nach de Borda = 9,80875 Meter, die Barometerhöhe 0,76 Meter und das Verhältniſs der Dichtigkeit des Quecksilbers gegen Luft nach Biot und Arago = 10466,82 angenommen, wonach dann die theoretische Schallgeschwindigkeit

$$= \sqrt{(9^m,80875 \times 0^m,76 \times 10466,82)} = 279^m,331 = 860\ \text{F.}$$

1 La Place erwähnt die Versuche von La Roche und Bérard aus Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 72. nicht, die jedoch gleichfalls für diesen und ähnliche Zwecke benutzt werden.

2 Vergl. Ann. Chim. et Phys. XX. 266.

Digitized by Google

seyn würde[1]. Die Temperatur bei den Versuchen war 16° C. (nach Mécan. cel. = 15°,9), und hiernach erhält man also

$$V = 279^{m},331 \times \sqrt{(1 + 0,00375 \times 16)} = 287^{m},59 = 885,12 F.$$

Der Coefficient $\frac{c'}{c} = k$, wie er aus allen Versuchen von Gay-Lussac und Welter hervorgeht, beträgt für $0^{m},757$ Barometerhöhe = 1,3748 und es soll sich von − 20° bis + 40° C. Temperatur und $0^{m},142$ bis $2^{m},300$ Barometerhöhe oder Quecksilberdruck keine meſsbare Abweichung von dieser Gröſse zeigen. Hiernach ist also

$$287^{m},59 \times \sqrt{1,3748} = 337^{m},202 = 1038,2 \text{ Fuſs}.$$

Das Haarhygrometer zeigte bei den Versuchen 72° und hiernach beträgt die hieraus hervorgehende unbedeutende Correction $0^{m},574$, so daſs die theoretische Schallgeschwindigkeit in diesem Falle 337,776 Metern gleichzusetzen ist, was von der aus den Versuchen hervorgehenden = 340,9 Metern nur um $3^{m},1$ abweicht[2].

Poisson's[3] Darstellung weicht hiervon nur unbedeutend ab und möge daher bloſs aus Rücksicht auf den berühmten Autor kurz erwähnt werden. Die von ihm gegebene Formel für die Schallgeschwindigkeit ist

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}\left(1 + \frac{\alpha\omega}{(1+\alpha t)\gamma}\right)}.$$

Hierin sind die Bezeichnungen g, h, D und t aus dem früher Gesagten bekannt, ω bezeichnet dann eine Veränderung dieser Temperatur, die einer Dichtigkeit = γ zugehört, und α ist der Coefficient der Luftausdehnung durch Wärme. Werden dann die eingeklammerten Gröſsen aus den Versu-

1 Die höchst unbedeutende Abweichung von der §. 70. gegebenen Normalbestimmung rührt von der Pendellänge, die hier nach Borda, oben aber nach den neuesten Messungen genommen ist.

2 Da die aus den Versuchen der französischen Akademiker erhaltene Schallgeschwindigkeit kleiner ist, als die der holländischen Physiker, und der Coefficient k gröſser, als aus andern Untersuchungen folgt (S. Erde a. a. O.), so kann diese Abweichung von $3^{m},1$ nicht wohl gering genannt werden.

3 Journ. de l'École polytechn. Cah. XIV. p. 360. Ann. Ch. Phys. XXII. 5. XXIII. 337. Connaissance des Temps. 1826. p. 257.

Digitized by Google

chen von Clement und Desormes[1] bestimmt, so setzt man kurz

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}}.k.$$

Es ist also $k = 1{,}3492$, und indem dann $t = 12^\circ{,}5$ ist, $g = 9{,}8087$ Meter genommen wird,

$$h = 0^{m}{,}7665,\quad D = 0{,}000092042\ldots,$$

so ist $\frac{h}{D} = 8327^{m}{,}66$ und $V = 331^{m}{,}97$. Die Mitglieder des Längenbüreaus fanden aus ihren mehrerwähnten Versuchen bei $15^\circ{,}9$ C. und 72° des Hygrometers $V = 340^{m}{,}89$, welches um $8^{m}{,}92$ zu groſs ist, statt daſs es für den Thermometerstand und das Hygrometer nur $2^{m}{,}69$ zu groſs seyn müſste[2]. Poisson meint, daſs aus den Versuchen von Clement und Desormes für $\gamma = 0{,}01355$ die Gröſse $\omega = 1^\circ{,}321$ gefunden worden sey, statt daſs sie $= 1^\circ{,}513$ seyn müsse, um dem durch die Akademiker erhaltenen Resultate zu genügen, jedoch könne dieser geringe Unterschied leicht der Wärmeabsorption durch die Wandungen der Gefäſse beigemessen werden. Poisson zeigt dann ferner, daſs diese Formel aus den Versuchen abzuleiten sey, ohne sie auf die Hypothese zur Erklärung des Mariotte'schen Gesetzes und der Ausdehnung der Gasarten zurückzuführen. Bezeichnet γ eine derjenigen gleichkommende Condensation der Luft, welche dieselbe durch eine kleine Verminderung der Temperatur bei gleichbleibendem Drucke erleidet, und welche Verminderung $= n$ seyn möge, so ist

$$\gamma = \frac{\alpha n}{1 + \alpha t}$$ und

$$V = \sqrt{\frac{gh}{D}\left(1 + \frac{\omega}{n}\right)}.$$

Heiſst dann N diejenige Wärme, welche man der gegebenen Menge Luft mittheilen müſste, um ihre Temperatur von $t - n$ auf t bei gleichbleibendem Drucke zu erhöhn, und man condensirte die hierdurch ausgedehnte Luft plötzlich, um sie auf ihre ursprüngliche Dichtigkeit zurückzubringen, so müſste sie die Condensation $= \gamma$ erleiden und ihre Temperatur würde hier-

4 Journ. de Phys. 1819. Nov. p. 334.

2 Man sieht, daſs La Place's numerische Rechnung schärfer ist.

Digitized by Google

durch $= t + \omega$ werden. Hierdurch würde aber h vermehrt. Wäre dann die Temperatur ohne Veränderung des Volumens auf $t - n$ vermindert, so müſste die Elasticität $= h$ wieder hergestellt seyn. Diese Verminderung des Druckes würde eine kleine Verminderung der Temperatur hervorbringen, die man $\omega + n$ setzen und durch $a(\omega + n)$ ausdrücken kann, wenn a die Wärmemenge bezeichnet, die einer gegebenen Luftmasse mitgetheilt werden muſs, um ihre Temperatur bei gleichem Volumen um 1° zu vermehren. Indem hierdurch das Volumen, die Temperatur und der Druck der Luft nach diesem Wärmeverluste die nämlichen sind, als vor der Ausdehnung derselben, so muſs die mitgetheilte Wärmemenge $= N$ der verlornen gleich seyn, und es ist also $N = a(\omega + n)$, woraus $\frac{N}{an} = 1 + \frac{\omega}{n}$ wird, und es ist also $\frac{N}{an}$ das Verhältniſs der beiden specifischen Wärmecapacitäten der Luft bei der Temperatur t, der einen unter einem constanten Drucke, der andern bei constantem Volumen, wonach also, $1 + \frac{\omega}{n} = k$ gesetzt, die Formel die einfache Gestalt $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$ erhält. Poisson bemerkt ferner ganz richtig, daſs der Werth von k auch aus den Versuchen über die Fortpflanzung des Schalles zu finden sey. Die Werthe von g, von h und von D sind nämlich so genau bestimmt, daſs sie keine merklichen Fehler zulassen. Ist dann die Schallgeschwindigkeit durch hinlänglich genaue Versuche gefunden und der Werth von V für die jedesmalige Temperatur bestimmt, so ist $V = \sqrt{\frac{gh}{D} \times k}$, woraus k gefunden wird. So erhält Poisson das uncorrigirte $V = 279{,}395$ Meter, die ersten Versuche der Pariser Akademiker wurden bei 6° Temperatur angestellt, und hiernach wäre theoretisch $V = 282{,}42$ Meter. Der Versuch gab 337,18 Meter, mithin ist $337{,}8 = 282{,}42 \sqrt{(1 + k)}$, woraus $k = 0{,}4254$ folgt. Allein dann ist k nichts weiter als ein constanter Factor, dessen Bestimmung auf keinem physikalischen Grunde beruht, er kann daher auch keineswegs, wie Poisson meint, dazu benutzt werden, um zu beweisen, daſs die Zusammendrückung der Luft um $\frac{1}{116}$ 1° C. Wärme aus-

Digitized by Google

scheide, da es noch nicht absolut erwiesen ist, daſs die Beschleunigung der Schallgeschwindigkeit auf diesem hypothetisch angenommenen Grunde beruhe[1].

Eine schätzbare, hier zu erwähnende Arbeit ist die Abhandlung, in welcher Moll[2] die oben bereits genannten, durch Parry und Foster zu Port Bowen veranstalteten Versuche für die Temperatur corrigirt und die hiernach gefundenen Resultate mit denen vergleicht, die aus der Theorie folgen. Die Formel, wonach er die theoretische Geschwindigkeit berechnet, ist die bekannte von Newton mit dem Zusatze des Coefficienten nach La Place, und hiernach erhält er für — 27°,62 C. Temperatur und den Factor $\sqrt{\frac{c'}{c}}$ nach Gay-Lussac und Welter genommen

$$V = \sqrt{\frac{gp}{D} \times \frac{c'}{c}}$$

$$= \sqrt{9,82827 \times 10441,55 \times 0,76 \times 0,896425} \times \sqrt{1,3748},$$

welches 310,0305696 Meter oder 1017,72 engl. Fuſs giebt.

Die Beobachtung gab aber	315,426 M. =	1035,19 e. F.
Die theoretische Berechnung	310,031 — =	1017,72 —
Unterschied	5,395 M. =	17,47 e. F.

1 Die nämliche Darstellung giebt auch W. Herschel in Encyclop. Metrop. Art. Sound. Aus der Geschwindigkeit des Schalles findet er $1 + k = 1,4132$ und von den verschiedenen Versuchen, diesen Factor zu bestimmen, erwähnt er bloſs die von Clement und Desormes. Beiläufig bemerke ich zugleich, daſs Ivory, dessen ausführliche Untersuchungen über diesen Gegenstand bereits oben Bd. III. S. 1058. erwähnt worden sind, vermittelst einer durch Poisson in Conn. des Tems 1826. aufgestellten Gleichung aus La Place's Hypothese den Werth von $k = \frac{1}{3}$ theoretisch bestimmt. Hiernach wird aber $V = 1058$ e. F., statt daſs die letzten Versuche der französ. Akademiker 1085 geben, welcher Unterschied als Beobachtungsfehler gelten soll. Es scheint mir überflüssig, die hier angegebenen Bestimmungen auch in englischem Fuſsmaſs und in Graden des Fahrenheit'schen Thermometers auszudrücken, da gegenwärtig sehr allgemein nach Metern und Centesimalgraden gemessen wird und sonstige Maſse hierauf leicht reducirt werden können. Eine vollständige Reduction auf englisches Fuſsmaſs und Fahrenheit'sche Grade von Galbraith findet man in Philos. Magazine and Journal etc. T. LXVI. p. 109. T. LXVIII. p. 214. und in Philos. Magaz. or Annals of Phil. T. I. p. 336. Er folgt hierbei hauptsächlich den Ansichten Ivory's.

2 Phil. Trans. 1828. p. 97.

Digitized by Google

Für diejenigen Versuche, die am 17. und 21. Februar 1825 bei — 27°,75 F. oder — 33°,2 C. angestellt worden waren, ist

$$V = \sqrt{9{,}82827 \times 10441{,}55 \times 0{,}76 \times 0{,}8755} \times \sqrt{1{,}3784}.$$

Dieses giebt die theoretisch berechnete Geschwindigkeit	=	306,39072 Meter
der Versuch gab		312,249446 –
Unterschied		5,858726 Meter.

Die Versuche am 22. März und 3. Juni bei verhältniſsmäſsig höherer Temperatur, auf gleiche Weise theoretisch bestimmt, geben	318,488009 Meter
durch Versuche waren gefunden	323,741284 –
Unterschied	5,253275 Meter.

Die Unterschiede sind einander so nahe kommend, daſs dieses als ein Hauptargument für die Genauigkeit der Versuche dienen kann. Die mittlere Differenz aus allen beträgt 5,395 Meter oder 17,47 Fuſs. Bei diesen Versuchen wurde das Hygrometer nicht beobachtet, indeſs zeigt Moll durch eine genaue Berechnung, daſs unter der Voraussetzung einer vollkommenen Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit hieraus keine gröſsere Differenz als für die kälteste Temperatur von 0,04141 Meter, für die mittlere von 0,0623921 M. und für die wärmste von 0,1568 Meter erwachsen würde, solche unbedeutende Gröſsen, daſs sie keine eigentliche Berücksichtigung verdienen. Eine Vergleichung der theoretisch berechneten und der durch Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit bei den Versuchen der holländischen Physiker giebt für die eine Reihe vom 27. Juni 1823 einen Unterschied von 4,92 Meter oder 16,14 engl. Fuſs, für die zweite Reihe vom 28. Juni 4,24 Meter oder 13,916 Fuſs, beide sehr genau übereinstimmend, aber von denen der englischen Reisenden verschieden, und zwar im Mittel von 0,815 Meter oder 2,44 engl. Fuſs. Moll meint, daſs die Ursache hiervon in einer Unsicherheit der Gröſsen liege, die man für so niedrige Temperaturen unter hohen nördlichen Breiten bei der Berechnung in Anwendung bringt, wie auch La Place schon angedeutet habe, allein mir scheint dieselbe bei der genauen Uebereinstimmung der englischen sowohl als auch der holländischen Resultate unter sich vielmehr

in einem constanten Beobachtungsfehler zu liegen, vielleicht in einer durch die starke Kälte etwas geschwächten augenblicklichen Wahrnehmung.

Die neueste Bearbeitung dieses Problems ist von Dülong[1], welcher sich der Schallschwingungen bedient hat, um die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Gasarten aufzufinden. Man darf sich indeſs durch die Resultate seiner allerdings schätzbaren Versuche nicht täuschen und zu der Ansicht verleiten lassen, als sey dadurch rücksichtlich der eigentlich vorliegenden Frage etwas entschieden, welches keineswegs der Fall ist, da vielmehr der zu beweisende Satz als bereits ausgemacht vorausgesetzt wird[2], nämlich daſs das Quadrat der wirklichen Schallgeschwindigkeit dividirt durch die Newton'sche theoretische Formel dem Verhältniſs der specifischen Wärme der Luft unter beständigem Drucke und bei unverändertem Volumen gleich ist, oder nach einem analytischen Ausdrucke

$$k = \frac{V^2}{\frac{g\,h}{D}\,(1 + 0{,}00375\,.\,t)}\,.$$

Dülong bestimmt jedoch unter dieser Voraussetzung die mittlere Schallgeschwindigkeit zu 333 Meter bei 0° Temperatur und findet hieraus k = 1,421. Simons[3] berechnet nach diesem Werthe von k die sämmtlichen Resultate der Versuche, die durch die holländischen Physiker, namentlich Moll und van Beek mit gröſster Genauigkeit angestellt wurden, und da diese nach seiner Berechnung als mittlere Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C. und in trockner Luft 332,244 Meter geben, statt daſs Moll nach seiner oben mitgetheilten Angabe 332,05 gefunden hat, Dülong aber 333 Meter annimmt, so muſs hieraus eine Differenz hervorgehn. Dieses zeigt sich auch bei genauerer Untersuchung; denn die Summe der Unterschiede, um welche die nach Dülong's Bestimmung berechneten Werthe gröſser sind, als die aus den Versuchen erhaltenen (in

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLI. p. 331.

2 Nous admettrons donc, comme un principe démontré, que u. s. w.

3 Philos. Trans. 1830. p. 209. Daraus in Poggendorff's Ann. XIX. 115.

der Tabelle die negativen Differenzen), beträgt 28,253 Meter, die Summe der Unterschiede, um welche sie kleiner sind, 9,361 Meter, welche Gröſsen addirt einen Ueberschuſs von 18,892 Metern, also auf alle 28 Beobachtungen vertheilt genau übereinstimmend von 0,6747 Metern geben. Aus den Versuchen selbst erhält Simons den Werth von $k = 1,4152$, wobei sich dann allerdings die positiven und negativen Differenzen, deren gröſste 6,154 Meter beträgt, bis auf eine verschwindende Gröſse aufheben.

72) Aus der bisher mitgetheilten Darstellung geht hervor, daſs die durch La Place aufgestellte Hypothese den ungetheilten Beifall fast aller Physiker gefunden hat, jedoch steht dieselbe isolirt da und es giebt keine ähnliche Erscheinung, wodurch sie unterstützt wird; denn die Entbindung der Wärme durch mechanische Compression kann hierfür nicht direct benutzt werden, weil hierdurch gleichzeitig die Luft in gleichem Maſse dichter, also im Verhältniſs zum Quecksilber schwerer wird, welches die gefundene Schallgeschwindigkeit wieder vermindert. Auf jeden Fall ist die durch die Schallwellen vermeintlich ausgeschiedene Wärme durch gewöhnliche Thermometer und selbst durch die feinsten Mikrocalorimeter nicht meſsbar; wenn aber Beobachter beim Knalle heftiger Explosionen durch ihr Gefühl Wärme wahrgenommen zu haben glauben, so bleibt es fraglich, ob nicht die gleichzeitige starke, auch auf gröſsere Entfernungen fortgepflanzte Luftcompression oder der gewaltsame Eindruck auf die Gehörnerven diese vermeintliche Empfindung erzeugt habe[1]. Biot[2] glaubt jedoch einen unwiderleglichen Beweis einer wirklich statt findenden Wärmeentbindung durch die Schallwellen aufgefunden zu haben. Eine in einem mit Dämpfen gefüllten Ballon aufgehangene tönende Glocke wird gehört, und hierin liegt der Beweis, daſs die Dämpfe den Schall fortpflanzen. In Gemäſsheit dieser Thatsache argumentirt er auf folgende Weise. Wenn der Raum, welcher Dämpfe einschlieſst, vermindert wird, so geht durch diese Raumverminderung ein Theil der

1 Nach den Versuchen von Wrede und Tralles in G. XVIII. 402.

2 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Vergl. Traité. T. II. p. 24. G. XXXIII. 237.

Digitized by Google

Dämpfe zur Geſtalt einer tropſbaren Flüssigkeit über, ohne daſs der Rest an Elasticität gewinnt. Die Vibrationen des schallenden Körpers drücken die berührenden Theile des Dampfes zusammen, es müſste hier also ein leerer Raum entstehn, durch welchen der Schall nicht fortgeleitet werden könnte, wenn nicht die ausgeschiedene Wärme eine neue Expansion bewirkte und dadurch die factisch erwiesene Schallfortpflanzung möglich machte. Also ist der Einfluſs der Wärmeentbindung in diesem Falle unwidersprechlich erwiesen [1].

Wie ein so scharfsinniger Gelehrter dieses Argument aufstellen konnte, ist mir oft in der Art unbegreiflich gewesen, daſs ich die Sache unrichtig verstanden zu haben glaubte, obgleich es mir unmöglich war, bei gröſster Anstrengung einen andern Sinn, als den angegebenen, in den Worten zu finden; die französischen Gelehrten haben sich zwar wenig oder nie auf diesen vermeintlichen Beweis berufen, daſs er jedoch von keiner Seite einen Widerspruch gefunden, scheint mir bloſs aus der hohen Achtung erklärlich, womit die unschätzbaren Verdienste des groſsen französischen Geometers La Place anerkannt wurden, und die es daher verhinderte, sich gegen irgend etwas zu erklären, was die Ansichten desselben zu unterstützen schien. Die gänzliche Unhaltbarkeit des aufgestellten Satzes läſst sich jedoch leicht zeigen. Wenn nämlich die tönende Glocke eine Schwingung macht, so drückt der nach auſsen gebogene Theil derselben allerdings die berührenden Dampfpartikeln zusammen, sofern sie nicht ausweichen, aber doch sicher nicht weiter, als bis wohin er mit denselben in Berührung bleibt. Gesetzt es würde durch diese Compression Wasser ausgeschieden, so bliebe der schwingende Theil der Glocke mit diesem und durch dasselbe mit den Dampfpartikeln in Berührung, es ist also stets ein die Schwingungen der Glocke aufnehmender und fortleitender Körper vorhanden, und auf keine Weise kann ein leerer Raum existiren, der dessen Fortpflanzung zu hindern vermöchte. Kaum halte ich für nöthig, auch auf den Rückgang der Schwingung Rücksicht zu nehmen; denn entstände hierdurch ein leerer Raum, so müſste das Nämliche auch bei der Luft statt finden,

1 Par conséquent, l'influence du développement de la chaleur dans ce phénomène est incontestable.

Digitized by Google

die gleichfalls durch die ausbiegende Schwingung, so gut als der Dampf, zurückgedrückt wird, und es könnte sonach in gasförmigen Medien überall keine Schallfortpflanzung statt finden. Die Sache ist in der That viel zu klar, als daſs ich diese Betrachtungen noch weiter auf die Wellen ausdehnen sollte, die durch tönende Körper in gasförmigen Flüssigkeiten erzeugt werden, ohne daſs wir nöthig haben, uns die letztern als so fest und unbeweglich ruhend vorzustellen, daſs eine ausbeugende Schwingung in ihnen eine solche Zusammendrückung bewirken könnte, wie Biot sie annehmen will.

La Place's Hypothese ist von wenigen Gelehrten angefochten worden. Wrede[1] findet in ihr einen logischen Widerspruch, indem die Ausscheidung der Wärme doch nur durch den mit seiner gegebenen Geschwindigkeit fortschreitenden Schall statt finden könne, und soll er also durch die hierdurch ausgeschiedene Wärme beschleunigt werden, so heiſse dieses nichts anders, als er müsse erst mit seiner geringern Geschwindigkeit vorangehn, bevor die eigentliche gröſsere beginnen könne (da die Ursache doch früher als die Wirkung vorhanden seyn muſs)[2]. Prechtl[3] tritt dieser Ansicht bei und macht noch auf den wichtigen Umstand aufmerksam, daſs neben dem verdichteten Lufttheilchen ein gleichmäſsig verdünntes liege, welches in gleichem Maſse Wärme absorbire, als das verdichtete sie freilasse, wonach also diese entgegengesetzten Wirkungen sich nothwendig aufheben müssen. Benzenberg[4] findet einen Gegengrund in dem Umstande, daſs eine zu groſse Ausscheidung der Wärme erfordert werde, wenn man die wirkliche Beschleunigung des Schalles als durch diese verursacht betrachten wolle, und eine hierzu erforderliche Compression unmöglich statt finden könne. Meikle[5] glaubt, die Menge der freiwerdenden Wärme müsse der Stärke des Schalles proportional seyn und ein starker Schall daher schneller fortgepflanzt werden.

---

1 G. XVIII. 401.

2 Offenbar befindet sich das Luftelement, aus welchem die Wärme ausgeschieden ist, hinter der fortschreitenden Schallwelle und kann die ihr vorausgehende unmöglich beschleunigen.

3 G. XXI. 449.

4 G. XLII. 35.

5 Edinb. Phil. Journ. New Ser. N. VII. p. 100.

Digitized by Google

Alle diese Gründe scheinen mir jedoch minder wichtig zu seyn, als das Resultat der ausführlichen Untersuchungen, welche ich bereits bei einer andern Betrachtung angestellt habe [1]. Nach den Versuchen der französischen Gelehrten soll durch eine Zusammendrückung der Luft im Mittel um 0,010348 ihres Volumens 1° C. Wärme ausgeschieden werden, allein die Erscheinungen von aufsteigenden und hauptsächlich von herabstürzenden Luftmassen im Groſsen, wobei die Fehler der Experimente im Kleinen am wenigsten statt finden können, ergeben zur Evidenz, daſs eine so starke Wärmeentbindung ganz unstatthaft ist. Der kleinste Werth unter allen ist der von Clement und Desormes gefundene = 0,01025, Dülong aber findet aus der Schallgeschwindigkeit gar nur 0,00374... oder $\frac{1}{267}$ für 1° C., was sich mit den erwähnten und sonstigen unbestreitbaren Phänomenen auf keine Weise vereinigen läſst.

Die erwähnten Argumente sind so wichtig und so sehr auf anerkannte Thatsachen gegründet, daſs wahrscheinlich bloſs die hohe Achtung gegen den berühmten Urheber dieser Hypothese, dessen unsterblicher Ruhm durch den Untergang derselben auf keine Weise beeinträchtigt werden kann, die Physiker bewogen hat, sie fast gänzlich unbeachtet zu lassen. Wie sehr sie aber eine nähere Würdigung verdienen, zeigt folgende Betrachtung, aus welcher nach meiner Ansicht die gänzliche Unhaltbarkeit der genannten Hypothese unwidersprechlich hervorgeht. Wir dürfen es nämlich als ein nicht zu bezweifelndes Axiom ansehn, was ohnehin bis jetzt von allen Physikern bei ihren Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft ausdrücklich wiederholt und von keinem nur im mindesten bezweifelt worden ist, daſs die den Ton in Pfeifen erzeugenden Schallwellen namentlich rücksichtlich ihrer Geschwindigkeit und des in einer gegebenen Zeit durchlaufenen Raums mit denen identisch sind, durch welche der Schall fortgepflanzt wird [2], denn hierauf beruht die Bestimmung der Längen der Pfeifen, die eine gewisse Tonhöhe geben (s. §. 39). Hieraus folgt aber nothwendig, daſs diese Schallwellen ihre Geschwindigkeit, die gleichfalls gröſser seyn muſs, als aus der Theorie nach den gleichen Bedingungen,

1 S. Art. *Erde.* Bd. III. S. 1046 bis 1063; vorzüglich S. 1052.
2 Vergl. Weber Wellenlehre S. 638.

Digitized by Google

welche die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung geben, folgen würde, durch die nämliche Ursache erhalten, welche bei denjenigen Wellen angenommen wird, die den Schall fortleiten. Ein zweites auf gleiche Weise unwidersprechliches Axiom ist, daſs die sämmtlichen den longitudinalen Schwingungen zugehörigen Schallwellen in einem Fortschreiten durch Verdichtung und in einem Rückgange durch Verdünnung bestehn (§. 38). Wollte man diesen Satz der fraglichen Hypothese wegen in Zweifel ziehn, so müſste man alle die Erscheinungen in Abrede stellen, die das Verhalten des Sandes bei der Erzeugung der Längenvibrationen bei Röhren und Scheiben augenscheinlich zeigt, und würde sich in unlösliche Widersprüche bei der Erklärung derjenigen Luftvibrationen verwickeln, die durch die Zungen (elastische Bleche) in tönenden Röhren erzeugt werden, da diese schwingenden festen Körper auf gleiche Weise bei ihrem Rückgange eine verdünnende Welle erzeugen müssen, als sie bei ihrem Vorgange[1] eine verdichtende Welle hervorbrachten. Dieser Satz geht auſserdem mit unwidersprechlicher Gewiſsheit aus demjenigen hervor, was §. 47. bis §. 50. über die Stöſse, und namentlich das Zusammenfallen der positiven und negativen Wellen, die sich aufheben und keinen Stoſs geben, nachgewiesen worden ist, wie nicht minder am auffallendsten aus dem Bernoulli'schen Satze, daſs die Wellen der Luftsäule in einer an beiden Enden offenen Röhre einander entgegengesetzt sind, wie Wheatstone §. 37. c. obendrein factisch nachgewiesen hat. Das dritte Axiom, dessen ich zur Begründung des folgenden Arguments bedarf, ist, daſs durch die Zusammendrückung der Luft ebensoviel Wärme ausgeschieden, als durch eine gleich starke Ausdehnung gebunden wird, ein Satz, den noch kein Physiker in Zweifel gezogen hat, indem vielmehr die Versuche der französischen Physiker, wodurch sie die Menge der frei werdenden Wärme auszumitteln suchten, theils durch Verdichtung, theils durch Verdünnung einer eingeschlossenen Luftmasse angestellt wurden.

Sind diese drei Sätze als wohlbegründet zu betrachten, so folgt unwidersprechlich, daſs die Länge einer Schallwelle in

1 Dieser ungewöhnliche Ausdruck wird hier im Zusammenhange keine Miſsdeutung veranlassen.

Digitized by Google

einer tönenden Pfeife oder die Länge des Raumes zwischen zwei Schwingungsknoten gleichfalls durch den Einfluſs der ausgeschiedenen Wärme bedingt wird, und daſs somit, wenn ihre durch Erfahrung gegebene Geschwindigkeit $= v'$, die theoretisch berechnete aber $= v$ genannt wird,

$$v' = v\sqrt{1+k}$$

seyn müsse. Ist aber k eine Function der durch Compression ausgeschiedenen Wärme, so muſs für die rückgehende Welle

$$v'' = v\sqrt{1-k}$$

seyn. Hiernach erhalten wir

$$v' : v'' = \sqrt{1+k} : \sqrt{1-k}$$

und für k den durch Dulong gefundenen numerischen Werth substituirt

$$v' : v'' = 1{,}192 : 0{,}76092 = 1{,}5666 : 1,$$

wonach aber die Summe der fortschreitenden Wellen gis und die der rückgehenden c geben würde und die Entstehung eines reinen oder gleichmäſsigen Tones ganz unmöglich wäre.

73) Sind die angeführten Argumente gültig, so herrscht über das so vielfach untersuchte Problem der Schallfortpflanzung noch die nämliche Ungewiſsheit, als vor der Auskunft, die La Place's Hypothese darüber zu geben schien, und nach so vielen vergeblichen Versuchen der gröſsten Geometer und Physiker, dieses Problem zu lösen, kann es allerdings ein gewagtes Unternehmen zu seyn scheinen, abermals die Lösung desselben nur einmal zu versuchen. So sehr ich dieses fühle, so halte ich mich dennoch für verpflichtet, meine Ansicht dieser Sache der Prüfung Sachverständiger anheimzustellen.

Vor allen Dingen muſs man sich den Ursprung der Schallwellen in der tönenden Luftsäule genau vorstellbar machen. Wellen entstehn in jeder Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung irgend ein Hinderniſs zu überwinden hat, wie man dieses beim flieſsenden Wasser deutlich bemerkt. Dieser im ganzen Gebiete der Physik höchst fruchtbare, bei weitem nicht hinreichend gewürdigte Satz kommt in Beziehung auf die Schallwellen zunächst insofern in Betrachtung, als die ruhende Luftsäule in den Pfeifen oft durch einen gegen eine scharfe Kante der Embouchüre stoſsenden, aus einer engen Mündung strömenden oder auf sonstige Weise in einzelnen Pulsus, also bereits wellenartig flieſsenden Luftstrom in Wellenschwingungen versetzt wird. Zur leichtern Uebersicht möge hier aber

Digitized by Google

nur der einfachere Fall betrachtet werden, wenn die Schwingungen eines vibrirenden Bleches die Wellen einer als ruhend
Fig. angenommenen Luftsäule erregen. Es sey also A B die ru-
159. hende Luftsäule in der tönenden Pfeiſe, ab das ruhende Blech, die Zunge. Kommt dieses durch irgend eine Ursache in die Lage a'b und dann durch seine Schwingung in die Lage ab, so stöſst es gegen die Luftsäule, die zunächst liegenden Theilchen werden fortgestoſsen, sie treiben die nächstfolgenden vor sich hin und die Bewegung pflanzt sich bis auf eine vorerst noch unbestimmte Entfernung fort. Ist das Blech bis ab gelangt, so schnellt es rückwärts, bis es in die Lage a'b kommt; sogleich beim Beginnen dieser Bewegung entsteht hinter demselben eine Verdünnung, die Welle läuft aus gleichen Gründen rückwärts, als welche unmittelbar vorher ihr Fortschreiten durch Verdichtung bewirkten, und die demnächst fortdauernde, den Ton erzeugende wechselnde Wellenbewegung ist gegeben. Die Zeitdauer einer Oscillation des Blechs bedingt die Zeitdauer des Fortganges und Rückganges einer Welle der Luft im Rohre, letztere kann daher nur eine gewisse Länge (in Beziehung auf die Axe der Röhre, sonst Breite) erhalten, wodurch also die Zeitdauer derselben und somit auch die Tonhöhe gegeben ist; denn das Element des Querschnittes der vibrirenden Luftsäule, in welchem die vor- und zurücklaufende Bewegung sich treffen, bildet den Schwingungsknoten. Die Geschwindigkeit, womit sowohl die tongebende als auch die schallleitende Welle sich bewegt, ist eine Function der in der Newton'schen Formel enthaltenen Gröſsen, und es müſste also die theoretische Schallgeschwindigkeit mit der durch Erfahrung gefundenen übereinstimmen; allein dieses ist unmöglich, denn die Gröſsen in dieser Formel sind für den Zustand der Ruhe genommen, ohne die Veränderung zu berücksichtigen, die durch die Bewegung hinzukommt. Heiſst demnach V die theoretisch berechnete Geschwindigkeit, so ist $V = f(z)$, wenn z das Product aus der Elasticität und Fluidität der Luft, die man als die Bedingungen der Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit betrachtet, sowie sie sich im Zustande der Ruhe befindet, bezeichnet. Durch den Stoſs des schwingenden Körpers oder der bereits erzeugten Luftwelle entsteht jedoch eine Verdichtung, mithin eine Vermehrung der Elasticität und der hierdurch bedingten Ge-

Digitized by Google

schwindigkeit der Bewegung[1], und es wird sonach f (z) in f (z + d z) verwandelt, weil sowohl die eigentliche Geschwindigkeit, als auch deren Vermehrung von den nämlichen Bedingungen abhängen. Diesemnach ist also $dz = \frac{1}{n} z$, und es fragt sich, wie groſs n anzunehmen sey. Um dieses zu bestimmen, muſs man berücksichtigen, daſs das gestoſsene Element dem stoſsenden vermöge seiner Elasticität und Fluidität, deren Product eben = f (z) ist, Widerstand leistet. Letzterer muſs überwunden werden, und da nach Newton *reactio aequalis actioni* ist, so muſs die Kraft im stoſsenden Elemente so lange wachsen, bis sie zu dieser Ueberwindung fähig ist, zugleich aber kann diese Vermehrung nicht über diese Gröſse hinausgehn. Diesemnach kann also d z weder gröſser noch kleiner seyn, als z, und n ist = 1. Das stoſsende Luftelement, dessen Kraft bis zur Gröſse z + d z gewachsen ist, muſs beim Rückgange der bewegenden Ursache mit gleicher Kraft zurückgehn (was ohnehin schon aus den Gesetzen der Pendelschwingungen folgt), und die Geschwindigkeiten der vor- und rückgehenden Wellen sind also einander ganz gleich. Hieraus folgt also nothwendig, daſs mit Beibehaltung der §. 70. gewählten Bezeichnung die theoretisch bestimmte Schallgeschwindigkeit

$$v = \sqrt{\left(\frac{2gB}{\delta}\sqrt{2}\right)}$$

seyn müsse. Ist dieses gültig für 0° C. Temperatur und einen gewissen Werth der unter dem ersten Wurzelzeichen enthaltenen Gröſsen, so muſs es auch nach den vorhergehenden Betrachtungen für alle andere Fälle gültig seyn, da zur Prüfung und Vergleichung der durch Beobachtung gefundenen Werthe diese insgesammt auf diese Normalgröſse reducirt werden. Es ist demnach in metrischem Maſse

1 Zu gröſserer Deutlichkeit läſst sich sagen: das Element der Luftsäule, worin die erste den Schall erzeugende oder fortpflanzende Welle gebildet wird, kann dem Begriffe nach in seinem Zustande nicht verharren, wenn die Welle entstehn soll, sondern muſs eine Verdichtung oder Verdünnung erleiden (beides im Erfolge gleich). Es fragt sich also nur, wie groſs diese Veränderung und die hiernach in der veränderten Luft statt findende Schallgeschwindigkeit ist.

$$2g = 9{,}8058, \quad \log. = 0{,}9914826$$
$$B = 0{,}76, \quad \log. = 0{,}8808136-1$$
$$\delta' = 10466{,}8, \quad \log. = 4{,}0198139$$
$$\sqrt{2}, \quad \log. = 0{,}1505150$$
$$\log. V^2 = 5{,}0426251$$
$$:2$$
$$\log. V = 2{,}5213125, \text{ giebt } 332{,}133 \ldots \text{Meter,}$$

und in Pariser Fuſsmaſse

$$2g = 30{,}186, \quad \log. = 1{,}4798138$$
$$B = 2{,}3396, \quad \log. = 0{,}3691449$$
$$\delta' = 10466{,}8, \quad \log. = 4{,}0198139$$
$$\sqrt{2}, \quad \log. = 0{,}1505150$$
$$\log. V^2 = 6{,}0192876$$
$$:2$$
$$\log. V = 3{,}0096438, \text{ giebt } 1022{,}45 \ldots \text{Fuſs,}$$
$$\log. \frac{144}{443{,}296} = 0{,}5116687-1$$
$$\log. V = 2{,}5213125, \text{ giebt } 332{,}133 \text{ Meter.}$$

Nach Moll beträgt die durch Versuche gefundene Schallgeschwindigkeit bei 0° C. Temperatur und in trockner Luft, wie oben §. 67. erwähnt worden ist, im Mittel aus allen Versuchen 332,05 Meter in einer Secunde, nach der Berechnung von Simons unter gleichen Bedingungen §. 71. gleichfalls im Mittel 332,244 Meter; das arithmetische Mittel aus beiden beträgt 332,147 M.
Die theoretisch gefundene Schallgeschwindigkeit 332,133 M.

Unterschied 0,014 M.

Bei dieser unerwartet genauen und eigentlich vollkommenen Uebereinstimmung scheint mir die aus der Natur der Bewegungsgesetze elastischer Flüssigkeiten entnommene Hypothese zur Lösung des lange ventilirten Problems vollkommen hinzureichen[1].

---

1 La Place hat noch ein zweites allgemeines Theorem über die Fortpflanzung des Schalles sowohl in festen Körpern, als auch tropfbaren und expansibeln Flüssigkeiten aufgestellt, welches aus der Zusammendrückbarkeit der Körper entnommen ist und unten §. 89. zur nähern Untersuchung kommen wird. Daſs beide Theoreme dem Wesen nach identisch sind, hat bereits Tralles in G. LXV. 43.

Digitized by Google

c) Anderweitige Umstände, die bei der Fortpflanzung des Schalles durch atmosphärische Luft in Betrachtung kommen.

74) Dem Winde wird allgemein ein bedeutender Einfluſs auf den Schall beigemessen, welcher theils in einer Vermehrung seiner Geschwindigkeit, theils in einer Modification seiner Stärke bestehn soll. Berücksichtigen wir zuerst die Vermehrung seiner Geschwindigkeit, so pflegte man als naturgemäſse Folgerung zu betrachten, daſs der Schall sich um so viel geschwinder oder langsamer bewege, als die Geschwindigkeit des Windes betrage. Dieses wollten auch schon Derham und die Mitglieder der Pariser Akademie bei ihren ersten Versuchen[1] gefunden haben, nämlich daſs der Wind auf den Schall keinen Einfluſs habe, wenn beider Richtungen auf einander senkrecht seyen, dagegen beider Geschwindigkeiten addirt oder subtrahirt werden müſsten, wenn sie zusammenfielen oder einander entgegen wären. Gilbert[2] hat daher die schon von Derham[3] vorgeschlagene Methode, die Geschwindigkeit des Windes durch Schallversuche zu bestimmen, auf

---

gezeigt, auch kommen bei der wirklichen Berechnung bei beiden die nämlichen Gröſsen vor. Daſs dasselbe auch auf die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft und Gasarten angewandt werden könne, behaupten La Place und Poisson ausdrücklich, indeſs hat man bloſs für feste Körper und tropfbare Flüssigkeiten bisher Gebrauch davon gemacht. Bei letztern bedarf man aber eines aus der ausgeschiedenen Wärme entnommenen Hülfsfactors nicht, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, ungeachtet die Compression, namentlich der festen Körper, auf gleiche Weise Wärmeentbindung zur Folge hat, als die Compression der Luft, und es streitet daher gegen die Consequenz im Urtheilen, wenn man diese Bedingung bei der einen Formel annehmen, bei der andern aber vernachlässigen wollte. Herapath in Quarterly Journ. of Science, Lit. and Art. New Ser. N. XIII. p. 167. führt gleichfalls den oben genannten Factor in die Formel ein, um die Theorie mit der Erfahrung in Uebereinstimmung zu bringen, allein die Resultate über die Natur der Gasarten, aus denen er denselben folgert, sind bereits oben im Art. Gas Bd. IV. S. 1073. als unzulässig dargestellt worden; daſs aber seine Berechnung keine hinlänglich übereinstimmenden Gröſsen giebt, ist eine Folge zu geringer Genauigkeit der dabei benutzten Zahlenwerthe.

1 A. a. O.

2 G. XLIV. 209.

3 Phil. Trans. 1708. T. IX.

dieienigen Resultate angewandt, die die Pariser Akademiker bei ihren ersten Versuchen 1738 erhielten, allein hierbei war noch nicht auf die Temperatur Rücksicht genommen und daher ist das Ergebniſs ohne allen Werth. GOLDINGHAM glaubt gefunden zu haben, daſs ein starker Wind die Schallgeschwindigkeit um 9,3 par. Fuſs in 1 Secunde vermehre, allein für eine solche Bestimmung sind seine Versuche keineswegs genügend. GALBRAITH[1] versucht den Einfluſs des Windes aus den zu Port Bowen angestellten Versuchen aufzufinden, gesteht aber selbst, daſs die erhaltenen Resultate unsicher seyen, was er für eine Folge der Mangelhaftigkeit der Beobachtungen hält. Bei den oben §. 67. erzählten Versuchen am Sklavensee glaubte KENDAL bei einer Temperatur von — 35°,8 eine durch den Wind bewirkte Beschleunigung von 17,3 Fuſs zu bemerken, bei — 41° F. aber betrug dieselbe 15,1 Fuſs; allein die oben mitgetheilte Berechnung ergiebt nichts von einem solchen Einflusse des Windes, denn die beiden Resultate sind keineswegs kleiner als die übrigen. Merkwürdig ist eine Aeuſserung NICHOLSON's[2], daſs man glauben solle, die Geschwindigkeit des Schalles werde durch den Wind verändert, die Stärke desselben aber nicht; allein die Erfahrung zeige gerade das Gegentheil. Die neuesten, mit gröſster Sorgfalt angestellten Versuche über die Schallgeschwindigkeit geben in Beziehung auf den Einfluſs des Windes keine Auskunft, und es bleibt daher auch die Frage unentschieden, ob man in dem Falle, wenn auf beiden Stationen geschossen und auch beobachtet wird, der Wind aber in der Richtung des Schalles weht, das arithmetische oder das geometrische Mittel nehmen müsse, um die eigentliche Geschwindigkeit des Schalles zu erhalten[3]. DELAROCHE[4] bemerkt schon, daſs es eine miſsliche Sache sey, die Geschwindigkeit des Windes zu der des Schalles zu addiren oder beide Gröſsen von einander abzuziehn, da die Schallwellen bei ihrer ungleich gröſseren Geschwindigkeit dem Winde bald vorauseilen müſsten, da letzterer schon sehr stark seyn müsse, wenn er 40 Fuſs in 1 Se-

1 Philos. Magaz. or Ann. T. IV. p. 179.
2 Journ. of Nat. Philos. Nr. IX. G. III. 181.
3 S. VAN BEEK in Allgem. Konst en Letterbode. 1825. Nr. 19.
4 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176. G. LVIII. 138.

Digitized by Google

cunde durchlaufe. Von noch gröſserem Gewichte aber ist Arago's Bemerkung bei Gelegenheit der Prüfung dieser Frage nach den letzten Versuchen der Pariser Akademiker, daſs der Wind nicht stets gleichmäſsig, sondern stoſsweise wehe und man daher nicht wissen könne, mit welcher von diesen Bewegungen die Schallfortpflanzung zusammenfalle.

Als Resultat aller dieser Betrachtungen geht hervor, daſs zur genügenden Entscheidung dieser Frage noch abermalige Versuche erfordert werden, die leider so ausnehmend umständlich und schwierig sind, daſs man sobald nicht auf deren Realisirung hoffen darf. Wenn man aber berücksichtigt, daſs bei allen den Versuchen, durch welche die Geschwindigkeit des Schalles mit gröſster Genauigkeit ausgemittelt wurde, sich gar kein Einfluſs des Windes zeigte, so dürfte man sich geneigt fühlen, diesen ganz zu bezweifeln. Dieses würde mit der Theorie übereinstimmen, wenn man annehmen müſste, daſs die den tönenden Körper nach allen Seiten umgebenden Schallwellen die Form, die sie einmal haben, allseitig beibehalten und unter andern nicht aus der Kreisform zur Gestalt der Ellipsen übergehn können; auf jeden Fall nämlich ist es eine falsche Ansicht, wenn man sich den Schall in einseitig gerader Richtung vom tönenden Körper zum Ohre des Hörenden fortgehend denkt, da er sich vielmehr in einer Sphäre von unbestimmter Ausdehnung verbreitet und sich das Ohr nur in einem Puncte derselben befindet.

Die Frage über den Einfluſs des Windes auf die Stärke des Schalles ist kaum mit gleicher Aufmerksamkeit behandelt worden, als die eben erörterte, so allgemein man auch ohne nähere Prüfung anzunehmen pflegt, daſs der mit dem Winde sich bewegende Schall diesen bedeutend verstärke, so daſs er in dieser Richtung ungleich weiter gehört werde, als in der entgegengesetzten. Letzteres ist im Allgemeinen zwar richtig und mit der Erfahrung übereinstimmend, indem unter andern nach Meikle[1] das Auffliegen der Stobbs-Pulvermühle 1824 mit dem Winde auf 30 engl. Meilen Häuser erbeben machte, gegen den Wind aber auf 3 Meilen kaum gehört wurde; allein damit ist die Frage noch keineswegs vollständig beantwortet, indem diese rohen Beobachtungen über das Maſs und die Stärke

1 Edinb. Phil. Journ. New Ser, N. VII. p. 105.

dieser Abnahme durchaus keine Auskunft geben. Eigentliche Versuche zur Entscheidung dieses Problems sind überall kaum vorhanden, indem man sich ganz gegen die sonstige Gewohnheit der physikalischen Forschungen bisher meistens mit den erwähnten allgemeinen Bestimmungen begnügte. Die ersten mir bekannt gewordenen Versuche sind von Haldat[1] zu Nancy angestellt worden. Er bediente sich hierzu einer kleinen Glocke, die im Freien noch auf 150 Meter gehört werden konnte, stellte verschiedene Personen abwechselnd so, daſs die Richtungen des Windes mit der des Schalles wechselnde Winkel bildeten, und suchte aus den gröſsten Entfernungen, in denen der Schall gehört wurde, den gesuchten Einfluſs auszumitteln. Um die Geschwindigkeit des Windes zu finden, wurde mit einer Secundenuhr die Zeit gemessen, welche leichte, in der Luft schwebende Körper gebrauchten, um eine bekannte Entfernung zu durchlaufen; die gemessenen Geschwindigkeiten liegen jedoch zwischen 1,5 und 2 Meter in 1 Secunde, geben daher keine umfassende Vergleichung, und auſserdem sind die Unterschiede der Resultate sehr bedeutend, was Haldat hauptsächlich vom Einflusse des Windstoſses gegen das Ohr ableitet, was aber ohne Zweifel auch, mindestens zum Theil, eine Folge der intermittirenden und oft wechselnden Geschwindigkeiten des Windes ist. In genäherten Werthen verhielt sich die Entfernung, bis zu welcher der Schall über dem Winde gehört wurde, zu der, wohin er unter dem Winde gelangte, wie 1 zu 2 oder auch wie 1 zu 3, ebenso stark war das Verhältniſs bei diagonaler Richtung des Windes gegen die des Schalles, bei lothrechter aber zeigte sich gar kein Unterschied.

Genauer und umfassender sind die spätern Versuche von Delaroche[2] und Dunal. Sie wählten dazu zwei Uhrglocken von gleicher Stärke, die mit gleichen Hämmern gleich stark angeschlagen wurden, lieſsen sie von Gehülfen so halten und anschlagen, daſs die sie verbindende Linie mit der Windrichtung verschiedene Winkel bildete, stellten sich dann zwischen dieselben in einer solchen ungleichen Entfernung, daſs der Schall beider einander gleich wurde, ein von der Photo-

1 Journ. de Phys. LXXIX. 235.
2 Ann. Chim. et Phys. T. I. p. 176.

Digitized by Google

metrie entlehntes Verfahren. Die Versuche wurden mehrmals wiederholt, mit verschiedenen Glocken und wechselnder Entfernung derselben von einander, auch dauerte jede Beobachtung so lange, daſs sie von der Gleichheit des Schalles beider überzeugt waren. Die Resultate, die auf diese Weise erhalten wurden, sind in der That überraschend. In der Nähe hat der Wind auf die Stärke des Schalles gar keinen Einfluſs, wenn z. B. der Abstand etwa 6 Meter nicht übersteigt. Dagegen zeigt sich derselbe sehr bedeutend, sobald die Entfernung gröſser wird, und wächst mit der Zunahme von dieser, jedoch so, daſs ein entgegenwehender Wind die Fortpflanzung des Schalles ausnehmend hindert, ein in seiner Richtung liegender aber sie gar nicht befördert, denn bei ruhiger Luft, oder wenn der Wind lothrecht auf die Richtung des Schalles stöſst, geht derselbe weiter, als mit dem Winde. Versuche hierüber werden noch durch den Umstand erschwert, daſs unbekannte Ursachen zuweilen die Stärke des Schalles ausnehmend vermindern, indem Delaroche einige Male von zwei ungleich entfernten Glocken abwechselnd bloſs die eine überhaupt oder beide mit sehr verschiedener Stärke hörte.

Würde erfordert, über das hier beschriebene Verhalten eine Erklärung aufzustellen, um sie mit anderweitigen Naturgesetzen in Einklang zu bringen, so möchte ich sagen, das Widersprechende liegt bloſs in der falschen Vorstellung, die man sich vom Winde macht, wenn man sich ihn bloſs als ein ruhiges Fortflieſsen der Luft denkt. Indem vielmehr jede Flüssigkeit, sobald sie bei ihrer Bewegung Hindernisse zu überwinden hat, sich wellenförmig bewegt, so folgt dieses auch als nothwendig bei der Luftbewegung im Winde. Die hiernach also statt findenden Luftwellen, als die gröberen und langsameren, können daher die ungleich feineren und schnelleren des Schalles auf keine Weise befördern, weil sie durch die letzteren, auch wenn sie in der nämlichen Bahn liegen, gleichsam durchsetzt werden, die ihnen stets voraus- eilen; kommen beide aber einander entgegen, so kann dieses auf eine kurze Strecke gar keinen oder keinen merklichen Einfluſs haben, wohl aber auf einer längeren, wo zufällig mehrmals die Wellenberge und Wellenthäler beider zusammenfallen und sich ausgleichen oder schwächen müssen.

Englefield[1] gelangte durch seine im Jahr 1773 zu Brüſsel beim Läuten der groſsen Glocke der St. Gudula-Kirche angestellten Versuche zu dem Resultate, daſs die Vibrationen eines so stark tönenden Körpers ein Sinken des Barometers um etwa 0,006 Zoll verursacht haben. Thom. Young leitet diese Wirkung von den mechanischen Luftbewegungen ab, die durch die Glocke in gröſserer Stärke beim Tönen erzeugt worden seyn könnten, als vorher bei ihren Schwingungen mit festgeklemmtem Klöpfel. Benzenberg[2] hat durch seine absichtlich angestellten Versuche zur Evidenz dargethan, daſs der Schall an sich und in Folge der durch ihn bewirkten Modification der Luft keinen Einfluſs auf das Barometer äuſsere, die oft sich zeigenden Schwankungen aber eine Folge der Erschütterungen sind, die den Thürmen durch die schweren Glocken mitgetheilt werden.

75) Die Dichtigkeit der Luft hat einen groſsen Einfluſs auf die Fortpflanzung des Schalles, indem seine Geschwindigkeit zwar mit der Verdünnung der Luft zunimmt, seine Intensität oder Stärke aber abnimmt. Der Schall ist demnach am stärksten bei hohem Barometerstande, bei heiterer, dampf- und dunstfreier Luft und bei niedriger Temperatur. Zahlreiche Erfahrungen bestätigen diese aus der Theorie folgenden Sätze. Vorzügliche Gelegenheit zu Beobachtungen dieser Art hatte von Zach[3] auf der isolirt und hoch liegenden Sternwarte Seeberg, und er bemerkte daher, daſs bei heiterer, ruhiger und nicht feuchter Luft, wenn die Sterne mit gleichmäſsiger, nicht schwankender Bewegung durch das Feld seines Passagen-Instruments gingen, die Glocken der umliegenden Kirchthürme, das Geräusch der Mühlen, das Bellen der Hunde und Rufen der Nachtwächter ausnehmend deutlich und stark gehört wurden, statt daſs alle diese gar nicht oder nur dumpf wahrnehmbar waren, wenn die Sterne zitterten. Ein sehr auffallendes Beispiel der Stärke, womit der Schall bei hohen Kältegraden fortgepflanzt wird, liefert die Beobachtung von

1 Aus Journal of the Royal Institution. T. I. in Gilb. XII. 214.

2 G. XXXIX. 129.

3 Allgem. geogr. Ephemer. 1798. Th. I. S. 499. Daraus in G. LVIII. 153.

Foster[1], welcher sich zu Port Bowen bei — 18° F. (—28° C.) Temperatur mit einem 6696 engl. Fuſs entfernten Manne sehr gut unterhalten konnte, wobei jedoch die in jenen öden Gegenden herrschende Stille sicher nicht ohne Einfluſs war. Zusammenhängend hiermit ist die Beobachtung von Hawksbee[2], daſs der Schall eines Weckers unter dem Recipienten so viel schwächer wurde, je stärker er exantlirte, und die interessante von John Roebuck[3] im Gebläsekasten des Hochofens zu Devonshire, daſs der Schall in der verdichteten Luft so ausnehmend verstärkt wurde. De Saussure[4] beobachtete auf dem Mont-Blanc, daſs eine abgeschossene Pistole nicht stärker tönte, als ein kleines Taschen-Terzerol in der Ebene. Andere Beobachtungen auf hohen Bergen stimmen hiermit vollkommen überein. Um so merkwürdiger ist das starke Getöse, welches Feuerkugeln erzeugen, die im Verhältniſs zu den genannten Erscheinungen in wahrhaft unermeſslichen Höhen explodiren. Der Schall, welchen das 1719 in 69 engl. Meilen Höhe nach Halley's[5] Messung zerplatzende Meteor erzeugte, glich dem einer Kanone von schwerem Kaliber, machte Thüren und Fenster zittern, so daſs ein Fernrohr auf der Sternwarte zu Greenwich aus seiner Nische stürzte und zerbrach; ein anderes Meteor 1783 wurde als ein tief dröhnender Donner gehört, obgleich seine Höhe nach Blagden[6] volle 50 engl. Meilen betrug, und ebenso stark war der Schall bei dem Meteore am 17. Juli 1771 zu Paris, dessen Höhe Le Roy[7] auf 20598 Toisen oder ungefähr 25 engl. Meilen berechnet. Mehrere ähnliche Beispiele lieſsen sich von andern Feuerkugeln anführen, wenn ihre Höhe wegen des unerwarteten Erscheinens nicht meistens unbekannt wäre.

76) Daſs der Schall bei Nacht ungleich stärker sey, als am Tage, ist eine sehr gemeine Erfahrung, und man pflegt

---

1 Journ. of a third Voyage for the discovery of a North-West Passage cet. under the Orders of Capt. W. E. Parry. Lond. 1826. p. 58.

2 Phil. Trans. 1705.

3 Edinb. Phil. Trans. T. V. p. 34. G. IX. 45.

4 Voyage dans les Alpes. T. VII. p. 337. §. 2020.

5 Phil. Trans. T. XXX. p. 978.

6 Philos. Trans. 1784.

7 Mém. de l'Acad. 1771. p. 668.

Digitized by Google

eben deswegen die feineren Schallversuche bei Nacht anzustellen. Auffallend zeigt sich dieses bei den Fuſstritten gehender Personen, hauptsächlich aber beim Nagen der Mäuse, was bei Nacht ein auffallendes Getöse erregt, wenn es bei Tage auch nicht bedeutend stark zu seyn scheint. Nicholson[1] führt als Beispiel an, daſs man auf der Westminsterbrücke die Stimmen der Arbeiter in der 3 engl. Meilen entfernten Fabrik zu Battersea und das Rufen der Schildwachen von Portsmouth 4 bis 5 engl. Meilen weit zu Ride auf der Insel Wight bei Nacht deutlich höre. Einige Beobachtungen, die er über das Schlagen einer Uhr während der Nacht bei völliger Stille oder beim gleichzeitigen Vorüberfahren eines Wagens anstellte, brachten ihn zu der Ueberzeugung, daſs dieser Unterschied bloſs von der gröſseren Stille herrühre, indem die Nerven des Ohrs durch keinen sonstigen Eindruck gereizt werden, und dieses Verhalten also damit übereinkomme, daſs auch die Nerven des Auges durch einen bereits vorhandenen Lichteindruck weniger empfindlich werden.

Am vollständigsten hat A. von Humboldt[2] diesen Gegenstand untersucht und dabei die zahlreichen Erfahrungen benutzt, die sich ihm auf seinen weiten Reisen darboten. Er bemerkt, daſs schon den Alten diese Beobachtung nicht entgangen sey, da Aristoteles[3] und Plutarch[4] ihrer gedenken. Dem Anscheine nach wird der Schall bei Nacht mehr in der Ebene, als auf Bergen von etwa 3000 Meter Höhe verstärkt, mehr auf dem Lande als auf der See. Daſs der Schall sich leichter in die Höhe als nach der Tiefe hin verbreitet, wird allgemein angenommen und stimmt ganz mit dem von Poisson[5] theoretisch gefundenen Resultate überein, wonach seine Intensität von der Dichtigkeit derjenigen Luftschicht abhängt, in welcher er entsteht. Das Getöse der Wasserfälle des Oronoco schien zu Atures bei Nacht dreimal so stark als am Tage, und ebendieses zeigte sich hinsichtlich des Getöses

1 Journ. of Nat. Philos. N. IX. G. III. 186.

2 Tableau de la Nature. T. II. p. 216. Ann. Ch. et Phys. T. XIII. p. 162. Daraus in G. LXV. 31.

3 Problem. Sect. XI. qu. 5. §. 33. Opp. ed. du Val. 1639. T. II. p. 115.

4 Sympos. L. VIII. c. 3. Ed. Par. 1624. T. II. p. 721.

5 Journ. de l'École pol. Cah. XIV. p. 328.

Digitized by Google

der Vulcane. Daſs die Stille der Nacht die Ursache seyn solle, glaubt v. Humboldt nicht, weil in jenen öden Gegenden das Summen der zahllosen Insecten bei Nacht stärker sey, als am Tage, und der Wind stets erst nach Sonnenuntergang wehe. Vielmehr soll die Ursache in der Einwirkung der Sonne auf die Luftschichten liegen, indem einzelne erwärmte Schichten und Lagen mit anderen kältern wechseln, wärmere in kältern aufsteigen und sich über sie lagern, so daſs also der Schall aus dichtern in dünnere Medien und umgekehrt übergeht, was seine Stärke allerdings vermindern würde, während der gleichmäſsigen Temperatur der Nacht aber wegfällt. Merkwürdig ist hierbei die Analogie zwischen dem Verhalten des Lichts und des Schalles, indem die Bewohner der Alpen und Anden die Verstärkung des Schalles während einer ruhigen Nacht für ein Vorzeichen bevorstehender Wetterveränderung halten, ebenso wie das helle Blinkern der Sterne. Zanotti[1] sucht die Ursache in einer gröſsern Dichtigkeit der kühlern Luft, Delaroche[2] aber findet keine der genannten Ursachen genügend und stellt es bloſs als fraglich hin, ob vielleicht eine ähnliche Modification der Luft, als diejenige, wodurch auch bei Tage der Schall zuweilen verstärkt wird, etwa eine Veränderung ihres hygrometrischen und elektrischen Zustandes, Ursache dieser Erscheinung sey.

77) Ständen nicht A. v. Humboldt's Erfahrungen entgegen, so müſste man unbedenklich der allgemein angenommenen Erklärung dieser Erscheinung von Nicholson beipflichten[3]. Inzwischen glaube ich, daſs bei näherer Betrachtung die anscheinenden Schwierigkeiten wegfallen werden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht ist einmal nicht zu bezweifelnde Thatsache; in welchem Verhältnisse dieselbe aber wächst, ist keineswegs genau bestimmt. Von Humboldt schätzt sie selbst auf den Anden auf das Dreifache, ich möchte jedoch dieses noch für zu gering halten, obgleich es wohl unmöglich ist, ein genaues Maſs hierfür aufzufinden. Die Verstärkung des Schalles bei Nacht findet auch in Häusern und Zimmern statt, wo weder eine Abkühlung noch eine

1 Comment. Bonon. T. I. p. 173.

2 G. LVIII. 152.

2 Biot's gleichfalls hierfür zeugende Beobachtungen s. §. 83.

Mischung ungleich dichter Luftmassen anzunehmen ist und nicht wohl eine andere Ursache, als die von Nicholson angegebene, wirksam seyn kann. Hiernach scheint mir diese letztere die in den meisten Fällen und am stärksten wirkende zu seyn, wo sie aber nicht statt finden kann, z. B. in den durch v. Humboldt erzählten Erscheinungen, ist ohne Zweifel die von diesem scharfsinnigen Forscher angegebene wirksam; ohne allen Einfluſs ist auch die gröſsere Kälte bei Nacht nicht, beides mit anderweitigen Erscheinungen völlig übereinstimmend, und endlich scheint mir eine bisher nicht beachtete Ursache hinzuzukommen, nämlich der Einfluſs der verschiedenen Sinne auf einander. Je weniger bei Nacht der Sinn des Gesichts beschäftigt ist, um so mehr tritt die Thätigkeit des Gehörs hervor, wie man dieses allgemein bei den Blinden wahrnimmt. Wie bedeutend diese Wirkung sey, ist nicht wohl auszumitteln, da sich dieses durch ein Verschlieſsen der Augen nicht auffinden läſst; ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht liegt jedoch auch in dem Umstande, daſs man bei erregter Aufmerksamkeit viel stärker hört, als wenn der Geist mit anderweitigen Dingen beschäftigt ist.

78) Obgleich der Schall eigentlich durch die Luft fortgepflanzt wird, so hat doch der Boden, über welchem die Luft ruht, oder es haben die Wände, zwischen denen die Luft eingeschlossen ist, einen entschiedenen Einfluſs auf die Stärke dieser Fortpflanzung, ebenso wie dieses hinsichtlich der Resonanz und der hierfür geeigneten Construction der Concertsäle und Opernhäuser bereits oben §. 44. erwähnt worden ist. Berücksichtigen wir zuerst die Beschaffenheit des Bodens, so ist zwar nicht jederzeit genau auszumitteln, ob der Boden selbst in Schwingungen versetzt wird und also hierdurch die Fortpflanzung des Schalles befördert, oder ob bloſs die gröſsere Stabilität, welche die über demselben ruhende Luft erhält, als Ursache hiervon zu betrachten ist. Nach den Untersuchungen der französischen Akademiker im Jahre 1738 hat der Boden auf die Fortpflanzung des Schalles an sich keinen Einfluſs, wenn nicht zwischenliegende Hügel, Städte oder sonstige Erhabenheiten seinen Fortgang hindern[1]. Einen ähn-

1 G. XLIV. 190.

Digitized by Google

lichen störenden Einfluſs soll nach Fröhlich[1] eine Schneedecke erzeugen, auch nimmt man als ausgemacht an, daſs Nebel und Trübung der Luft den Fortgang des Schalles hemmen. Im Ganzen genommen giebt es jedoch keine Erfahrungen, die über einen Einfluſs des Bodens auf die Leichtigkeit der Schallfortpflanzung entscheiden, und der Einfluſs der Witterung, selbst des Windes, auf die Stärke desselben bleibt mindestens sehr zweifelhaft. Kircher[2] behauptet zwar, daſs südliche und westliche Winde, Nebel und Trübung des Himmels den Schall schwächen, Derham[3] dagegen führt so widersprechende Resultate hierüber an, daſs es unmöglich ist, danach zu irgend einer Entscheidung zu gelangen. Ebendieses ist der Fall bei den zahlreichen und unter den verschiedensten Bedingungen angestellten, auch vielfach modificirten Versuchen der Pariser Akademiker[4] im Jahre 1738. Der Schall verbreitet sich ferner zwar rund um den schallenden Körper, jedoch ist er stärker in derjenigen Richtung, in welher die ursprünglich erzeugten Schallwellen fortgestoſsen werlen. Man versteht daher einen Redenden besser, wenn er nit dem Gesichte zugewandt, als wenn er abgewandt ist, esser wenn er eine Wand oder eine sonstige gröſsere Fläche inter sich hat, als wenn er nach allen Seiten frei steht. Dain gehören ferner die Schalldeckel der Rednerbühnen und anzeln. Chladni[5] bemerkt, daſs eine gestrichene Scheibe ärker tönt, wenn sich das Ohr oberhalb derselben als mit ır in einer Ebene befindet. Vorzüglich leicht und stark soll er Schall über eine Wasserfläche fortgepflanzt werden. Hutɔn[6] stellte auf der Themse Versuche hierüber an und fand, ıſs die Stimme eines Lesenden über der Wasserfläche auf '0 Fuſs ebenso deutlich vernommen wurde, als auf dem ınde bei 76 F. Entfernung. Den Seefahrern soll dieser Unschied wohl bekannt seyn, auch will man bemerkt haben, ſs im Theater Argentino zu Rom, nachdem ein Wasserca-

---

1 Ebend. S. 403.
2 Phonurgia nova. Cum fig. Campidonae 1673. fol.
3 Phil. Trans. 1708. T. XXIX.
4 S. deren Zusammenstellung mit Anmerkungen von Gilbert in sen Ann. XLIV. 177.
5 Akustik. S. 234.
6 Dictionary. T. II. p. 414.

Digitized by Google

nal unter dem Fuſsboden angelegt worden war, die Stimme eines Redenden bis zu einer Entfernung sehr deutlich gehört wurde, wohin sie vorher nicht gelangte. Auch Mauern befördern sehr den Fortgang des Schalles, ebenso wie ein Boden von Steinen. Hutton beobachtete, daſs man an einem Theile der Gartenmauer zu Kingston in Dorsetshire ein leises Flüstern bis auf 200 Fuſs Entfernung deutlich hörte.

79) Daſs die Stärke des Schalles mit der Entfernung abnehme, ist unbestreitbar, nach welchem Gesetze aber diese Abnahme erfolge, ist keineswegs mit derjenigen Genauigkeit bestimmt, die in den meisten übrigen physikalischen Thatsachen herrscht, und die Ursache hiervon liegt ohne Zweifel in der Schwierigkeit, ein genaues *Sonometer* oder einen Apparat zu construiren, vermittelst dessen die Stärke des Schalles mit hinlänglicher Schärfe gemessen werden könnte. Das beste Verfahren ist ohne Zweifel dasjenige, dessen sich Delaroche (§. 74.) bediente, nämlich das Ohr zwischen zwei tönende Körper in diejenige Entfernung zu bringen, in welcher die Stärke des Schalles beider gleich ist; allein wenn es auch leicht seyn mag, zwei gleich stark tönende Körper zu erhalten, so genügt dieses zu Messungen der Art doch nicht, vielmehr ist erforderlich, zwei von ungleicher, aber genau bestimmter Stärke zu haben, um dann die Abstände zu finden, in denen beide gleich sind, und diese Aufgabe ist bis jetzt noch nicht gelöst worden. Auſserdem folgt aus den bisherigen Betrachtungen, daſs verschiedene anderweitige Bedingungen auf die Abnahme des Schalles einen unverkennbaren Einfluſs haben, und es bleibt demnach unbestimmbar, wie groſs die Wirkung der Entfernung für sich allein sey. Obgleich es daher insbesondere nach der Analogie mit der Verbreitung des Lichts höchst wahrscheinlich ist, daſs auch der Schall den Quadraten der Entfernung proportional abnimmt, so ist dieser Satz doch keineswegs durch die Erfahrung hinlänglich bestätigt worden und die Aussprüche hierüber beruhen daher noch zur Zeit bloſs auf theoretischen Gründen. Schlimm ist es im Allgemeinen, daſs für diese Bestimmungen jederzeit das Ohr als Meſsapparat dienen muſs, da das Messen vermittelst der Sinne jederzeit einen hohen Grad der Ungewiſsheit zurückläſst.

80) Die absolute Entfernung, bis zu welcher der Schall durch die Luft fortgepflanzt werden kann, ist insofern sch

bestimmbar, als sie nach der Stärke desselben verschieden seyn muſs, die Schwierigkeit wird aber dadurch ganz unüberwindlich, daſs tropfbare Flüssigkeiten und feste Körper bessere Leiter sind und man daher in keinem Falle entscheiden kann, welchen Antheil die letztern an der Fortpflanzung haben. Alle hierüber vorhandene, gröſstentheils nicht einmal genaue Angaben können daher bloſs zu einer ungefähren Uebersicht der Sache dienen, weswegen ich nur die vorzüglichsten zur Vergleichung hier erwähne.

Im Allgemeinen darf man annehmen, daſs der Schall leichter nach oben als nach unten fortgepflanzt werde, mindestens geschieht dieses dann, wenn die Höhe so beträchtlich ist, daſs an beiden Orten eine ungleiche Dichtigkeit der Luft statt findet, wonach dann der Schall leichter aus einem dichtern Medium in ein dünneres übergeht, als umgekehrt. Auſserdem folgt dieses aus der in der Regel aufwärts gehenden Bewegung der Luft, und endlich darf man den festen Boden als einen die Schallwellen aufwärts treibenden Resonanzboden betrachten. Hiermit stimmen die Resultate der Beobachtungen überein, wenn man auch die Angaben von Robertson, Garnerin und Fröhlich nach Gilbert's[1] richtiger Ansicht als keiner Beachtung werth betrachtet. Als entscheidend können dagegen die Erfahrungen gelten, die Saussure[2] und Schultes[3] hierüber gemacht haben, woraus hervorgeht, daſs der Schall sehr leicht auf weite Strecken vom Fuſse bis zur Spitze hoher Berge gelangt, in entgegengesetzter Richtung aber ausbleibt; anderer ähnlicher Wahrnehmungen nicht zu gedenken. Eine der interessantesten unter diesen ist die, daſs man zu Carisbrook Castle unweit Newport das Auffallen einer Stecknadel auf die Wasserfläche eines Brunnens von 210 engl. Fuſs Tiefe und 12 F. Durchmesser deutlich hört. Diese Schallverstärkung soll durch die eben gestrichene innere Fläche des Mauerwerks bei diesem Brunnen befördert werden[4].

Beispiele sehr groſser Entfernungen, bis zu denen eine starke Mannsstimme drang, sind bereits oben §. 75. und 76.

1 G. XVI. 21. 25. 31. 276.
2 Reisen Th. IV. S. 207. 288.
3 G. XX. 250.
4 Encyclop. Metrop. Art. Sound. p. 751.

Digitized by Google

angegeben worden, nämlich das Rufen der Schildwachen von Portsmuth bis Ride auf der Insel Wight auf etwa 4500 F. und die ungewöhnlich weite Distanz von 6696 engl. Fuſs bei den Versuchen zu Port Bowen. Ganz unglaublich ist die Angabe Derham's, die Thom. Young[1] mittheilt, daſs zu Gibraltar die menschliche Stimme weiter als 10 engl. Meilen (2 geogr.) gehört worden sey. In den meisten, wo nicht in allen Fällen aber, wenn die Fortpflanzung des Schalles auf groſse Entfernungen beobachtet wurde, ist man nie von dem Antheile versichert, welchen die Erde und das Wasser daran nahmen. Gesler[2] führt an, daſs man die zu Florenz abgefeuerten Kanonen 50 ital. Meilen weit zu Livorno und noch 5 Meilen weiter, bei der Belagerung von Genua aber auf 90 ital. Meilen über das Meer hin hörte; allein neuere Beispiele geben ungleich gröſsere Resultate. So hörte man unter andern 1792 die Kanonaden von Mainz auf der Hube bei Einbeck etwa 33 geogr. Meilen weit sehr deutlich, aber ohne Zweifel vermittelst der Fortleitung durch die Erde, im Jahr 1809 die Schüsse bei Helgoland zu Hannover auf etwa 35 geogr. Meilen, und, was wohl das Stärkste ist, am 4. Dec. 1832 die Kanonade von Antwerpen im sächsischen Erzgebirge, also bis 80 geogr. Meilen weit[3], welches also noch diejenige Entfernung übertrifft, die bisher für die stärkste gehalten wurde, nämlich daſs die Explosionen des Vulcans St. Vincent bis Demerary, also auf 300 engl. Seemeilen oder 75 geogr. Meilen gehört wurden[4].

81) Die genaue Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der Luft hat zunächst und hauptsächlich nur wissenschaftlichen Werth. Allerdings ist diese Bestimmung jetzt mit so groſser Genauigkeit aufgefunden, daſs man dieselbe umgekehrt zur Messung von Entfernungen anwenden könnte, wenn dieses Mittel nicht meistens mit zu groſsen Schwierigkeiten verbunden wäre und daher nicht leicht absichtlich hierzu gewählt werden kann. Die vortheilhafteste Anwendung desselben läſst sich jedoch machen, wenn daran gelegen ist, die Entfernung

1 Young Lectures T. II. p. 266.
2 A. A. IV. 814.
3 Leipz. Zeitung.
4 Ann. of Phil. 1816. Jan. p. 3.

des schweren Geschützes zu erforschen, in welchem Falle es bloſs einer genauen, Theile von Secunden angebenden, Uhr bedarf; in genähertem Werthe läſst sich auch die Entfernung des Blitzes und einer zerplatzenden Feuerkugel hiernach bestimmen. Die hierzu erforderliche Berechnung ist ausnehmend leicht. Heiſst nämlich die normale Schallgeschwindigkeit $= V = 332{,}133$ Meter oder 1022,5 Fuſs, und nennt man die nach der Temperatur corrigirte

$$V' = V\sqrt{1 + 0{,}00375\,t},$$

wenn t in Centesimalgraden bekannt ist (wofür man auch genähert 1,926 par. F. für 1° C. addiren kann), so findet man die Entfernung

$$E = V' \times T,$$

wenn T die Zeit in Secunden bezeichnet. Will man jedoch von dem für E aus der Zwischenzeit zwischen dem Blitze und dem Donner gefundenen Werthe auf die Entfernung des Gewitters schlieſsen, so ist dieses trüglich, weil zwar die Entfernung des beobachteten Blitzes genau hierdurch gefunden werden kann, das Gewitter im Ganzen aber oft eine so groſse Ausdehnung hat, daſs es in sehr bedeutenden Abständen von einander abwechselnd aus demselben blitzen kann.

Newton[1] hat das Problem aufgestellt, aus der bekannten Fallgeschwindigkeit der Körper und der Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung durch die Luft die Tiefe eines Brunnens vermittelst eines hineingeworfenen schweren Körpers und der beobachteten Zeit vom Anfange seines Falles bis zur Wahrnehmung des Schalles zu messen. Seine Auflösung ist mit veränderten Bezeichnungen folgende. Nach den Fallgesetzen ist $s = t^2 g$, wenn s den Raum, t die Zeit und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet; nach den Gesetzen der Schallfortpflanzung ist $V' t$ der vom Schalle durchlaufene Raum, wenn V' die corrigirte Geschwindigkeit und t die Zeit in Secunden bezeichnet. Ist dann x die unbekannte Tiefe des Brunnens und t' die Zeit, die der Körper gebraucht, um hinabzufallen, t'' aber diejenige Zeit, die erfordert wird, bis der Schall

1 Arithmetica universalis. Prob. L. Vergl. Kaestner Mathem. Abhandl. vermischten Inhalts. Erfurt 1794. Nr. 4.

Digitized by Google

wieder an der Oberfläche anlangt, so ist $\sqrt{\frac{x}{g}} = t'$ und $\frac{x}{V'} = t''$, weil aber $t' + t'' = t$ ist, so erhält man $\sqrt{\frac{x}{g}} + \frac{x}{V'} = t$, woraus x vermittelst einer quadratischen Gleichung gefunden wird. Man erhält nach gehöriger Reduction

$$x = vt + \frac{v^2}{2g} - \frac{v}{g}\sqrt{(4gvt + v^2)},$$

eine nicht logarithmische Formel, wonach ich jedoch früher einmal die zugehörigen Werthe für gegebene Zeiten bis auf Viertel-Secunden von 1 bis 10 Secunden berechnet habe[1], indem ich g = 15 par. F. und v = 1046 F. aus Rücksichten auf die höhere Temperatur annahm. Da diese Rechnungen mühsam sind und man doch zuweilen Gebrauch davon machen könnte, so möge die Tabelle hier Platz finden.

1 G. XLII. 398.

Digitized by Google

Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.	Zeit Sec.	Tiefe par. F.	Unterschied par. F.
1,50	33,10	11,40	6,00	464,40	36,19
1,75	44,50	13,00	6,25	500,59	37,74
2,00	57,50	14,64	6,50	538,33	38,90
2,25	72,14	16,18	6,75	577,23	40,04
2,50	88,32	17,71	7,00	617,27	41,20
2,75	106,03	19,22	7,25	658,46	42,27
3,00	125,25	20,69	7,50	700,73	43,40
3,25	145,94	22,16	7,75	744,13	44,47
3,50	168,10	23,58	8,00	788,60	45,54
3,75	191,68	24,96	8,25	834,14	46,58
4,00	216,64	26,36	8,50	880,72	47,61
4,25	243,00	27,69	8,75	928,33	48,63
4,50	270,69	28,94	9,00	976,96	49,64
4,75	299,63	30,43	9,25	1026,60	50,63
5,00	330,06	31,61	9,50	1077,23	51,60
5,25	361,67	32,86	9,75	1128,83	52,57
5,50	394,53	34,17	10,00	1181,40	53,54
5,75	428,70	35,70	10,25	1234,93	

Daſs diese Werthe auf absolute Genauigkeit keine Ansprüche nachen können, versteht sich wohl von selbst, auch wenn nan den Einfluſs der Temperatur als berücksichtigt annimmt, veil der Widerstand gegen die Luft ganz vernachlässigt ist; nzwischen sind die Bestimmungen insoweit hinlänglich genähert, als für diesen Zweck, hauptsächlich bei nicht sehr groen Tiefen, gefordert zu werden pflegt.

82) Eine der merkwürdigsten Modificationen der in der uft fortgehenden Schallwellen sind die Interferenzen derselen, die bei ihnen auf ganz gleiche Weise als bei den Lichtellen statt finden. Das Phänomen wurde zuerst durch Vieth[1] ahrgenommen oder bekannt gemacht, indem er zufällig fand, ſs das Nachklingen eines tönenden Körpers, wozu man eine heibe, einen gläsernen oder metallenen Stab, am bequemsten ne Stimmgabel, nehmen kann, in einer gewissen Richtung gen das Ohr verschwindet. Hiernach vermuthete er, daſs s Ohr auf gleiche Weise eine unempfindliche Stelle haben isse, als diese für das Auge durch Mariotte[2] nachgewiesen

1 G. XVII. 117.
2 S. *Geſicht.* Bd. IV. S. 1369.

Digitized by Google

ist. Hällström[1] setzte diese Untersuchungen weiter fort, bediente sich dazu meistens einer tönenden Scheibe und fand, daſs die Schallwellen in einigen Richtungen wirklich fehlen, man also nicht annehmen könne, daſs sie der bis dahin herrschenden Ansicht gemäſs sich rings um den tönenden Körper gleichmäſsig nach allen Richtungen verbreiteten. Die Gebrüder E. und W. Weber[2] entdeckten bei ihren akustischen Untersuchungen das Phänomen gleichfalls, ohne anscheinend von den frühern Beobachtungen Kenntniſs zu haben, und verfielen sogleich auf die richtige Ansicht, daſs die Erscheinung zu denjenigen gehöre, die Fresnel unter dem Namen der *Interferenzen* beim Lichte untersucht habe. Chladni[3] gab dann das sinnreich ausgedachte Mittel an, das Phänomen selbst deutlicher zu beobachten und andern wahrnehmbar zu machen, indem man ein gewöhnliches, am besten ein bauchiges Medicinglas durch hineingegossenes Wasser genau auf den Ton der Stimmgabel stimmt, wie man durch Hineinblasen prüfen kann, dann die Gabelzinke in horizontaler Richtung über ihre Oeffnung hält und um ihre Axe dreht, wobei der Schall sein Maximum erreicht, wenn sich die Flächen über der Oeffnung befinden, und verschwindet, wenn die Kanten in einer gewissen Lage dieser entgegengerichtet sind. Ist die Stimmgabel von vorzüglicher Güte, so daſs sie stark und lange Zeit anhaltend nachtönt, so kann dieser Wechsel mehrmals wiederholt werden, man kann jedoch auch mit schlechtern das Phänomen sowohl auf diese Weise wahrnehmbar machen, als auch dadurch, daſs man die Zinke in verticaler Richtung einen oder höchstens etliche Zoll vom Ohre entfernt abwechselnd um ihre Axe dreht. Eine andere, gleichfalls durch Chladni[4] vorgeschlagene Methode, die Schallwellen und selbst auch die Interferenzenlinien dem Auge sichtbar zu machen, besteht darin, daſs man einen tönenden Stab oder die Zinke (auch beide) einer tönenden Stimmgabel mit der Oberfläche von Wasser in Berührung bringt, über welche etwas Lycopodiumpulver ge-

---

1 Explicatio phaenomeni acustici a cel. Vieth nuper descripti. Praes. G. Hällström, Resp. Inberg. Aboae 1805. Daraus in G. XXV. 90.

2 Wellenlehre S. 507.

3 Schweigg. Journ. XLVI. S. 108.

4 Kaestner Arch. VII. S. 233.

Digitized by Google

ſtreut iſt, W. Weber aber machte ſie noch deutlicher ſichtbar, indem er die Zinke einer Stimmgabel dicht über eine Membrane brachte, die auf einem quadratiſchen Rahmen ſtraff ausgeſpannt war. Am beſten war der Erfolg, wenn ſie parallel mit der Diagonale der ausgeſpannten Membrane gehalten wurde[1].

W. Weber[2] hat ſpäter das Phänomen einer genauern, tiefer eingehenden Unterſuchung unterworfen, deren Reſultate oben[3] bereits mitgetheilt worden ſind. Es ergiebt ſich hieraus, daſs zur Erzeugung der hyperboliſch gekrümmten Interferenzenlinie nothwendig die eine Welle der andern um einen aliquoten Zeittheil vorauseilen muſs, damit die Erhabenheiten der einen mit den Vertiefungen der andern zuſammenfallen, wenn man mit Weber annimmt, daſs die durch die vordere Seite der Zinke erzeugten Wellen durch diejenigen geſchnitten werden, die durch den Impuls der hintern ihren Urſprung erhalten. Weber ſelbſt läſst die Frage unentſchieden, woher dieſe Verſpätung rühre, Brandes aber meint, durch die Compreſſion bei Erzeugung der erſten Welle werde nach La Place's Theorie Wärme ausgeſchieden und hierdurch die erforderliche Beſchleunigung bewirkt. Allein nicht zu rechnen die Argumente, die oben §. 72. gegen dieſe Theorie vorgebracht worden ſind und in dieſem Falle auf gleiche Weiſe inſofern ihre Anwendung finden müſsten, als die Verdichtungswellen bei ſchnellerer Bewegung einem höhern, die Verdünnungswellen aber bei langſamerer einem tiefern Tone zugehören würden, iſt gar nicht abzuſehn, warum gerade die erſte Welle eine gröſsere Geſchwindigkeit, als die nachfolgenden, haben ſollte, da doch alle dem nämlichen Tone zugehören und die Geſchwindigkeit aller durch die Vibrationen des tönenden Körpers bedingt wird, deſſen Ton ſie fortleiten. Inzwiſchen läge die Urſache weit näher, wenn man der Anſicht Weber's folgen wollte, wonach die Interferenzlinien in den Durchſchnittspuncten der Wellen liegen ſollen, die von beiden entgegengeſetzten Flächen der Zinke erzeugt ſich ſchneiden, denn indem die Zinke ſich in der Durchſchnittsebene durch ihre Län-

1 Schweigg. Journ. Th. L. S. 247.
2 Schweigg. Journ. XLVIII. S. 385.
3 S. *Interferenz*. Bd. V. S. 773.

Digitized by Google

genaxe hin und her bewegt, entsteht von selbst auf der einen Seite eine verdichtende und gleichzeitige, auf der andern eine verdünnende Welle, die also bei gleicher Breite in ihrer Mitte sich schneiden und dadurch die Interferenzlinie erzeugen müſsen. Mir scheint jedoch, daſs bei dem Phänomene überhaupt vielleicht ein anderes Verhalten statt finden könne. Wenn man die eine und die andere Fläche der nachtönenden Stimmgabel leise mit der Spitze einer feinen und dünnen Federmeſserklinge oder einer feinen Nadel berührt, so gewahrt man an jeder ein Klirren, welches nach der Höhe des dadurch erzeugten schwachen Tones durch gleiche schnelle Pulsus erzeugt wird. Es läſst sich zwar nicht mit Gewiſsheit hieraus folgern, daſs der Stab in der Richtung jeder der beiden Flächen schwingt, weil an der einen ein bloſses Schaben in Folge einer Reibung statt finden könnte; allein durch genaue Beachtung des Phänomens wird jene erstere Folgerung mindestens wahrscheinlich, und sie erhält noch auſserdem eine Bestätigung durch die Curven, welche die Knöpfe der Stäbchen bei Wheatstone's[1] *Kaleidophone* beschreiben, woraus hervorgeht, daſs Stäbchen, selbst vierkantige, nicht in einer geraden Ebene schwingen. Nehmen wir aber an, daſs solche Stäbe abwechselnd in Ebenen schwingen, die auf ihre Flächen perpendiculär sind, so müssen die Schwingungen nach der einen in der Mitte zwischen die nach der andern fallen, wodurch die Durchschnittspuncte der verdichtenden und der verdünnenden Wellen von selbst gegeben werden, indem die von der angeschlagenen Seite ausgehenden um eine halbe Breite voraus sind. Die Figuren erläutern die auf diese Weise
Fig. 160. u. 161. bei Zinken von ungleichen und gleichen Flächen entstehenden Interferenzlinien, da der Querschnitt der Stimmgabelzinken ebenso oft ein Parallelogramm als ein Quadrat zu seyn pflegt[2].

Man hat dieses hier bezeichnete Verhalten der Schallwellen auch wohl *Polarisation*[3] genannt, auch redet Wheat-

1 S. *Kaleidophon*. Bd. V. S. 811.

2 Daſs die Interferenzlinie bei beiden Gestalten der Zinken eine ungleiche Richtung habe, scheint mir für meine Ansicht ihrer Entstehung sehr beweisend zu seyn.

3 Vergl. Schweigg. Journ. XII. 197. XVI. 187.

Digitized by Google

STONE[1] von einer Polarisation des Schalles in der Luft und bei seiner Fortpflanzung durch feste Körper, allein es ist mir nicht recht klar, was hierunter verstanden wird; eine eigentliche Polarisation des Schalles, wie die des Lichts, obgleich beide auf einer Wellenbewegung beruhn, ist bis jetzt noch nicht genügend nachgewiesen. Wenn aber PAROLETTI[2] gefunden haben will, daſs das Licht die Fortpflanzung des Schalles befördere, so verdient dieses wohl keine eigentliche Beachtung.

83) Die Fortpflanzung des Schalles durch die Luft wird ausnehmend befördert, sobald die letztere in feste Grenzen eingeschlossen ist, und der Fortgang desselben durch Röhren bietet allerdings merkwürdige Erscheinungen dar. Dahin gehört unter andern schon der Umstand, daſs die Weite der Röhren dabei kaum oder überall nicht in Betrachtung kommt. Bis zu welcher Grenze der Weite diese Behauptung ausgedehnt werden könne, ist allerdings schwer auszumitteln, da zu Versuchen hierüber geeignete Canäle nicht leicht zu Gebote stehn, inzwischen geht aus minder vollkommenen Erfahrungen wenigstens so viel hervor, daſs eine gröſsere Weite die Wirkung sehr bald zu vermindern beginnt, wie man an langen Gängen in Gebäuden, Stollen und tiefen Schachten wahrnimmt, die den Schall bei weitem nicht so stark fortleiten, als enge Canäle. Schwerlich dürfte sich leicht ein Fall auffinden lassen, wo eine weitere Röhre den Schall fortleitete, als der §. 80. erwähnte Brunnenschacht von 12 engl. Fuſs Durchmesser und 120 F. Tiefe, dessen ausnehmend starke Fortleitungsfähigkeit der Beachtung werth gefunden wurde. Ungleich wirksamer dagegen sind Camine und Schornsteine; die noch engeren Schläuche für die Luftheizung oder Dampfheizung aber dienen leicht dazu, den Schall durch die entferntesten Gemächer der ausgedehntesten Gebäude fortzupflanzen, weswegen man die erstern in Gefängnissen, Corrections- und Irrenanstalten vermeiden muſs, weil ihre Mündungen in den einzelnen Zimmern eine Communication mit andern, selbst den entferntesten, gestatten oder der Lärm beim Toben der Wahnsinnigen die mehr beruhigten aufschreckt. Geht die

1 Ann. of Philos. New Ser. T. VI. p. 81. Ann. of Philos. XXII. 80.

2 Journ. de Phys. T. LXVIII. p. 345.

Digitized by Google

Weite der Röhren bis auf einen Fuſs Durchmesser und noch tiefer bis selbst unter zwei Zoll herab, so ist ihre Wirkung ganz unglaublich, und bis jetzt ist die Grenze der Enge noch nicht aufgefunden, die vermindernd zu wirken beginnt, ebenso wenig als sich angeben läſst, ob Krümmungen und Winkel ein Hinderniſs herbeiführen. Letzteres ist der Analogie nach nicht wahrscheinlich, weil Biegungen der Röhren bei Blasinstrumenten nicht störend wirken, bei den Hörrohren vielmehr eine Verstärkung des Schalles erzeugen [1] und die Bewegung der Luft in Röhren durch Aenderung der Richtung in beliebigen Winkeln nicht wahrnehmbar verzögert wird [2].

Die Sache war im Allgemeinen bereits hinlänglich bekannt, als Biot [3] sie durch höchst interessante genaue Versuche mehr wissenschaftlich begründete. In Verbindung mit Bouvard, Malus und hauptsächlich Martin benutzte er eine in Paris neu angelegte eiserne Wasserleitung, um die Fortpflanzung des Schalles theils durch Guſseisen, theils durch die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule zu prüfen, und gelangte dadurch zu dem merkwürdigen Resultate, daſs im letztern Falle der leiseste Schall bis zu unglaublich weiter Entfernung noch hörbar bleibt. Anfangs schien zwar allerdings der Schall in der Röhrenstrecke, deren Länge 951 Meter betrug, so sehr abzunehmen, daſs keine Verständigung durch dieselbe möglich blieb, als aber Biot und Martin die geräuschlosen Stunden der Nacht von 1 bis 4 Uhr wählten, durchlief der Schall die in den Röhren eingeschlossene Luftsäule von 951,25 Meter (2928,66 par. F.) so ungeschwächt, daſs man, wie es wörtlich heiſst, ganz schweigen muſste, wenn man nicht gehört werden wollte, denn Worte, so leise gesprochen, als wenn man sich ins Ohr flüstert, kamen ungeschwächt am andern Ende an. Hierbei bleibt es allezeit merkwürdig, daſs Bouvard und Malus anfangs den durch kürzere Röhrenstrecken fortgeleiteten Schall sehr gut vernahmen, nachher aber bei 395 Meter Länge sich kaum noch verständlich machen konnten,

1 S. *Hörrohr.* Bd. V. S. 425.

2 S. *Pneumatik.* Bd. VII. S. 672.

3 Mém. d'Arcueil. T. II. p. 405. Ann. Ch. et Phys. T. VII. p. 98. G. XXXV. 419.

und Biot selbst am Tage durch die ganze Strecke zwar ein starkes Schreien, aber nicht die einzelnen Worte wahrnahm. Man sollte denken, daſs die nämliche Schwächung des Schalles, die durch das gleichzeitige anderweitige Geräusch bewirkt wird, die Wahrnehmung des Schalles auch durch kürzere Strecken hindern muſste, wenn der Durchgang der Schallwellen durch Röhren von beliebiger Länge keine Verminderung der Stärke desselben bewirkte, und man müſste daher zur Erklärung des abweichenden Resultates annehmen, daſs das äuſsere Geräusch in den Röhren selbst eine mit ihrer Länge zunehmende Schwächung des Schalles bewirkte. Diese Hypothese lieſse sich sehr wohl mit Gründen unterstützen, wenn man darauf Gewicht legen wollte, daſs Schallwellen so leicht in allen hohlen Räumen aufgefangen werden[1]. Wird übrigens das Resultat der eben genannten Versuche von Biot als richtig angenommen, so folgt daraus, daſs die zum Versuche dienende Länge noch nicht hinreichend war, um eine Abnahme der Stärke des Schalles wahrnehmbar zu machen, und daſs demnach noch weit gröſsere zur Bestimmung des Gesetzes der Schallabnahme angewandt werden müſsten, wozu jedoch schwerlich Gelegenheit vorhanden seyn dürfte, und es ist daher sehr wichtig, diejenigen, die etwa bei neuen Wasserleitungen dargeboten werden, nicht unbenutzt zu lassen. Wollte man aber die durch Biot gemachte Erfahrung als in ihrer ganzen Strenge gültig betrachten, so würde daraus folgen, daſs man durch Röhren von beliebiger, selbst viele Meilen betragender Länge ohne Schwächung mit einander reden könnte.

Biot hörte bei diesen Versuchen auf gleiche Weise als sein Gehülfe Martin in der Röhre ein sechsfaches *Echo*, ohne dieses Phänomen zu erklären. Gilbert fügt die Bemerkung hinzu, daſs diese Echo's mit der Entstehung der Töne in offenen Pfeifen in Verbindung zu stehn scheinen und auf abwechselnden, schwingungsartigen, sehr kleinen Bewegungen aller Theilchen der sechsten Theile der halben Luftsäule in der Röhre vorwärts und wieder zurück, nach Art der longitudinalen Schwingungen der festen Körper, beruhn müſsten,

1 Ueber eine ähnliche räthselhafte Anomalie s. die weiter unten folgende Anmerkung.

Digitized by Google

da bei einem Echo der Schall vorwärts und rückwärts gehn muſs, mithin die doppelte Zeit gebraucht, als diejenige ist, in welcher er eine gerade Strecke durchläuft. Diese Ansicht ist gewiſs nicht ganz verwerflich; zur vollkommenen Begründung einer Erklärung wäre aber erforderlich zu bestimmen, ob diese Echo's gleichmäſsig und in gleichen Intervallen bei allen Tönen von ungleicher Höhe erfolgten. War dieses der Fall, wie aus der Uebergehung einer Bestimmung hierüber mindestens sehr wahrscheinlich wird, so müſste allerdings das Verhältniſs der Röhrenlänge zur Weite der Schallfortpflanzung durch die Luft bei der Erklärung zum Grunde gelegt werden, wie dieses durch Chladni[1] bereits geschehn ist, wobei noch zur Beseitigung der Schwierigkeiten angenommen werden könnte, daſs zur Erhaltung einer normalen Abtheilung die äuſsersten Schwingungsknoten vielleicht über die Enden der Röhren hinausreichten, wie etwas ähnliches auch bei Zungenpfeifen vorkommt.

Man macht verschiedene, meistens sehr interessante Anwendungen von der leichten Fortpflanzung des Schalles durch Röhren, insbesondere wenn man beabsichtigt, den Schall von einer bestimmten Stelle aus auf seiner ganzen Bahn unwahrnehmbar nach einem andern gegebenen Orte zu verpflanzen. So wird unter andern der Wächter im Mastkorbe auf Schiffen durch eine Röhre, die aus der Cajüte des Capitains am Mastbaume hinaufgeht, commandirt, und er theilt auf diesem Wege rückwärts Nachrichten mit[2]. Im Industrie-Comptoir zu Weimar erhalten die Arbeiter in den verschiedenen, zum Theil weit entlegenen Zimmern durch blecherne Röhren von etwa eines mäſsigen Fingers Dicke ihre Instructionen aus dem Geschäftszimmer und richten hierhin rückwärts ihre Fragen. In nördlichern Gegenden ist es nöthig, sie an den Enden im Winter mittelst eines Korkes zu verstopfen, damit kalte durchströmende Luft den Hauch in ihnen nicht gefrieren mache, und überhaupt ist dieses zu empfehlen, damit keine Insecten hineinkriechen; zugleich aber muſs jede Röhre mit einem an beiden Enden klingenden Schellenzuge versehn seyn, um voraus ein Zeichen zu geben, daſs man redend commu-

1 S. *Echo*. Bd. III. S. 80.

2 Mechan. Magaz. N. 325. p. 176.

Digitized by Google

niciren wolle[1]. Die bekannten redenden Köpfe, gewöhnlich *Türkenköpfe*, wie man sie früher häufig auf Kirchweihen und Messen den Neugierigen zeigte, die auf einem Tische an einer Wand zu stehn pflegten, in deren Ohr man die Frage flüsterte, um aus dem Munde die Antwort zu erhalten, gehören gleichfalls zu dieser Classe von Vorrichtungen, die gegenwärtig durch allgemeiner verbreitete Kenntniſs der Sache ihr Interesse meistens verloren haben und daher auſser Mode gekommen sind. Sie bestehn aus bloſsen hohlen Köpfen, aus denen an der hintern Seite eine Röhre durch die Wand ins Nebenzimmer geht, wo die statt des Kopfes vermittelst der Röhre hörende und antwortende Person ihren Platz hat und durch die Verbindung dessen, was sie hört, mit dem, was sie, selbst im dunkeln Raume nicht sichtbar, durch eine feine

1 Nach diesen mir seit längerer Zeit wohl bekannten Erfahrungen ist oben den engern Röhren ein entschiedener Vorzug beigelegt worden. Neuerdings sind mir jedoch anderweitige Erscheinungen bekannt geworden, welche einander zu widersprechen scheinen und ebenso wenig bis jetzt aufgeklärt worden sind, als die oben bereits erwähnten Widersprüche zwischen den durch die französischen Gelehrten über die Fortleitungsfähigkeit des Schalles durch Röhren erhaltenen Resultaten. Froriep versichert nämlich, daſs die Fortpflanzung des Schalles durch die genannten, kaum einen Zoll weiten Röhren auf eine Entfernung von etwa 250 F. ohne Schwäche erfolge. Scheibler aber wandte auf eine noch gröſsere Strecke Röhren von ungefähr gleicher Weite an und erhielt gar keinen Erfolg. Dabei ist jedoch wohl zu berücksichtigen, daſs die letztern Röhren über einen Hof unter der Erde hin liefen, statt daſs die erstern horizontal durch eine Reihe von Zimmern fortgeführt sind. Als aber später 32 Linien weite Röhren von Weiſsblech angewandt wurden, war die Fortleitung so vollständig, daſs sogar die Schläge eines Secundenpendels aus einem Zimmer durch die ganze Länge im andern gehört wurden. Aber auch ein in einer Mauer befindlicher, 5½ Zoll weiter, vierkantiger Canal von nur 35 Fuſs Höhe, dessen vier Seitenwände aus rauhem Mauerwerke bestehn, läſst selbst den stärksten Schall nach Scheibler's Versuchen weder aufwärts noch herabwärts hindurchströmen. Da solche Communicationen vermittelst des Schalles bei vielen Anlagen von groſser Wichtigkeit sind, so verdienen diese Erfahrungen sehr berücksichtigt zu werden. Scheibler leitet das Ausbleiben der Fortpflanzung des Schalles durch die engen Röhren von dem Einflusse der umgebenden Erde ab, wie denn auch eine in einen Bleiblock eingegossene Trompete nicht tönen würde. Das Ergebniſs bei dem gemauerten Canale ist schwieriger zu erklären; Scheibler glaubt, der Schall werde von den rückwärts gekehrten Biegungen des Mauerwerks zurückgeworfen.

Digitized by Google

Oeffnung wahrnimmt, leicht die räthſelhaften Fragen löſt, die meiſtens von den Ungebildeten aufgegeben und zu ihrer groſsen Verwunderung richtig beantwortet werden. Eine wegen des ſinnreichen Mittels der Täuſchung ſehr intereſſante Abänderung dieſer Vorrichtung zeigte des bekannten v. Kempelen's Schwiegerſohn nach einer von Vieth[1] darüber mitgetheilten Nachricht. Die *redende Figur* hatte übrigens nichts auszeichnendes, ſie ſaſs auf einem Stuhle an einer beſtimmten Stelle des Zimmers, hörte und ertheilte die Antworten wie gewöhnlich, und man muſste danach alſo eine aus ihr durch den Fuſsboden ins Nebenzimmer fortgeführte, den Schall leitende Röhre als vorhanden vorausſetzen. Dann aber war es um ſo viel überraſchender, daſs ſie zuſammt dem Stuhle von ihrer Stelle gerückt und mitten ins Zimmer geſtellt wurde, um leiſe geheimere Antworten zu geben, ohne daſs irgend eine Verbindung mit dem Nebenzimmer oder eine ſonſtige zum Vorſchein kam, und ſelbſt Vieth, übrigens mit dieſen Einrichtungen hinlänglich vertraut, konnte keine ſolche entdecken, bis ſie ihm gezeigt wurde. Es gingen nämlich von beiden Stellen aus, wo der Stuhl ſtehn muſste, Röhren, von jeder eine, unter dem Fuſsboden hin ins Nebenzimmer, und waren ſo gekrümmt, daſs ihr eines Ende gegen den einen Fuſs des Stuhls gerichtet war, in welchem eine Röhre bis in den Kopf der Figur hinaufging; das unter dem Fuſsboden aufwärts gerichtete Ende der Röhre wurde dann dem unten im Stuhlfuſse ſich öffnenden Röhrenende dadurch möglichſt nahe gebracht, daſs das Fuſsbodenbord an der gehörigen Stelle unten bis auf eine ſehr dünne Stelle weggenommen war, die man zur Herſtellung der Verbindung mit einer Nadel unmerklich fein durchſtochen und, um ſie nicht zu verfehlen, mit einem bloſsen Nagel bezeichnet hatte.

Die intereſſanteſte Vorrichtung dieſer Art wurde im Anfange dieſes Jahrhunderts eine geraume Zeit faſt gleichzeitig oder bald nach einander in England, in Paris, an den Küſtenländern Deutſchlands und allmälig an den meiſten bedeutendern Orten des europäiſchen Continentes unter dem Namen der *Invisible girl*, der *Femme invisible* und der *unſichtbaren Frau* von herumziehenden Künſtlern mit groſsem Ge-

---

1 G. XXI. 301.

winne gezeigt. Das Geheimniſs, worein die Sache gehüllt war, wurde von Kennern der akustischen Gesetze bald errathen und dann ohne Widerstreben bekannt gemacht, denn die eigene Betrachtung der Maschine bleibt auch dann noch interessant und selbst wichtig, wenn man mit ihrem Mechanismus vertraut ist, und das besser belehrte Publicum läſst sich jetzt durch scheinbare Wunder nicht mehr täuschen, strebt vielmehr nach eigentlicher deutlicher Kenntniſs der Sachen. Daher wurde der Mechanismus der Vorrichtung nicht lange nach dem ersten Erscheinen in England durch einen Ungenannten, in Deutschland durch C. H. Pfaff beschrieben[1], und andere Beobachter ſanden die Sache bestätigt.

Aus dem bloſsen Anblicke der Zeichnung wird die Sache klar. Die Ueberraschung entsteht hauptsächlich dadurch, daſs der Haupttheil der Maschine, die hohle Kugel mit ihren vier trompetenartigen Mündungen, die vom englischen Beobachter als gerade, von Pfaff als herabwärts gekrümmt angegeben sind (wie auch ich sie an einem schönen Exemplare beobachtet habe), ganz frei an vier mäſsig breiten seidenen Bändern entweder von den gebogenen Drähten der Maschine, wie die Figur sie zeigt, oder von der Decke des Zimmers herabhängt, so daſs man dieselbe in die Höhe heben und dadurch den Mangel eines Zusammenhanges dieses eigentlich (scheinbar) redenden Maschinentheiles mit der übrigen Vorrichtung oder einem sonstigen Gegenstande darthun kann. Hierdurch wird sofort die Täuschung erzeugt, als diene das aus leichten Stäben gemachte Gitter bloſs zum Schutze dieses wichtigsten Theils, und der Gedanke, daſs durch einen der vier Träger desselben und eine der diese verbindenden Querleisten eine den Schall leitende Röhre gelegt sey, wird gleichsam zurückgedrückt. Die vier Pfeiler des Gegatters sind entweder so, wie die Figur zeigt, durch die beiden untern und die eine obere Querleiste verbunden, oder zwischen beiden befinden sich noch etwa einen Zoll breite, nur wenige Linien dicke, einander schräg kreuzende Leisten. Wie die Verbindung der sprechenden Kugel mit der den Betrug spielenden Dame durch eine in der Mitte der obern Querleiste mündende, in einem der Pfosten herabgehende, unter dem Fuſsboden hingeführte Fig. 162.

1 G. XXVIII. 244.

Digitized by Google

und im Nebenzimmer aufwärts gebogen endende Röhre hergestellt sey, ist aus der Zeichnung ersichtlich; auch ist wohl zu vermuthen, daſs die unsichtbare Frau, selbst im dunkeln Zimmer befindlich, durch eine feine Spalte Kenntniſs von dem erhalte, was im Zimmer vorgeht, um ihre Antworten danach einzurichten, denn auch bei dieser Maschine findet die von Ungebildeten vielbewunderte Beantwortung räthselhafter Fragen statt, wozu die Zeichen, die auf sonstige Weise von vertrauten Personen im Zimmer selbst gegeben werden könnten, nicht hinreichen würden. Bei einigen Maschinen hörte man auf Verlangen auch eine schwachtönende Musik, wie von einem Forte-Piano in der Kugel, und obgleich die eigentliche Vorrichtung hierzu nicht speciell angegeben ist, so läſst sich doch leicht vorstellen, auf welche Weise der Schall des gespielten Instruments aufgefangen und der fortleitenden Röhre zugeführt werden muſs, um bloſs durch die Kugel und nicht zugleich durch die benachbarte Wand gehört zu werden, indem dadurch sonst das Geheimniſs verrathen würde. Es ist bei den Maschinen dieser Art zur Erlangung der beabsichtigten Täuschung von Wichtigkeit, daſs die Mündung der Röhre, da wo sie der einen Trompete gegenüber endet, sehr fein und selbst dem schärfsten Auge nicht wahrnehmbar sey. Dieses wird dadurch erreicht, daſs der Stab, welcher an die Kanten der Querleisten angestoſsen ist, eine schwarze Farbe erhält, während die Flächen der Leisten grün, blau oder sonst gefärbt sind. In der Vertiefung des obern Stabes an der inwendigen Kante der Leiste wird dann eine feine Ritze, etwa einen Zoll lang und kaum eine halbe oder nur eine Viertellinie weit, angebracht, die in die Leitungsröhre führt. Bei einem von mir gesehenen Exemplare war es mir nicht möglich, diese Oeffnung weder durch das Gesicht noch durch das Gefühl aufzufinden, obgleich ich die Stelle recht gut kannte, wo sie sich befinden muſste und auch wirklich vorhanden war, bis der Besitzer des Apparates, der mein Bemühen bemerkte, mich bat, vom Suchen zu abstrahiren, und dann nach Entfernung der übrigen Zuschauer durch einen hineingeschobenen Papierstreifen nicht bloſs die Anwesenheit dieser Oeffnung, sondern auch die Unmöglichkeit zeigte, sie auf sonstige Weise aufzufinden. Dieser Umstand hat Dr. Schmidt[1] be-

1 G. XIX. 470.

wogen, die gangbare Erklärung des Phänomens zu verwerfen und eine andere aufzustellen, die jedoch akustischen Gesetzen widerstreitet; wenn er aber behauptet, unter alle vier Pfeiler des Gitters Kartenblätter geschoben zu haben, so ist allerdings zu verwundern, daſs hierdurch die Fortpflanzung des Schalles nicht aufgehoben wurde, indeſs bleibt immer möglich, daſs der schlaue Besitzer der Maschine gerade das hemmende Kartenblatt unvermerkt zur Seite geschoben habe, auf jeden Fall müſste ein Versuch dieser Art unter gehöriger Controle angestellt werden. Daſs übrigens die feinsten Oeffnungen zur Fortpflanzung der Schallwellen genügen, beweiset die eben beschriebene, durch Vieth beobachtete Vorrichtung.

Der auffallendste Umstand bei dieser Maschine ist die Eigenthümlichkeit, daſs man in jede der vier Trompeten sprechen kann und willkürlich aus jeder die Antwort vernimmt, ohne daſs nach meinen Beobachtungen ein Unterschied der Stärke oder eine Verschiedenheit der Richtung wahrgenommen wird. Ob auch andern dieses aufgefallen sey, wage ich nicht zu bestimmen, es wird jedoch nichts hierüber angegeben. Die Ursache scheint mir darin zu liegen, daſs die in die Kugel gestoſsenen Schallwellen sich nach allen Seiten hin ausbreiten und daher sowohl in die Mündung der Leitungsröhre, als auch, wenn sie aus dieser kommen, in alle vier Trompeten gelangen und daher vor der Oeffnung einer jeden wahrnehmbar sind. Wie sehr aber hohle Räume den Schall verstärken, ist bereits aus andern Erfahrungen bei Bauchreden, dem Hörrohre u. s. w. nachgewiesen, und manche dieser Erscheinungen werden durch diejenigen Erfahrungen aufgeklärt, welche man vermittelst der eben beschriebenen Maschine erhalten kann.

84) An diese Betrachtungen schlieſst sich unmittelbar die Untersuchung des *Sprachrohrs* (*Tuba stentorea*, *stentorophonica;* Porte-voix; *Speaking trumpet*), indem durch dasselbe gleichfalls die Schallwellen zwischen Wänden fortgepflanzt werden, die jedoch nicht parallel, sondern unter einem Winkel gegen einander geneigt sind; auch sollen sie nicht bloſs bis ans Ende der Röhre, sondern in beträchtliche Weite über diese hinaus und weiter gefördert werden, als ohne das Sprachrohr geschehn würde. Das jetzt gebräuchliche Sprachrohr ist vom Ritter Samuel Morland 1670 erfunden worden, welcher solche

Instrumente zuerst kleiner aus Glas, dann gröſser aus Kupfer in der Gestalt eines abgekürzten Kegels verfertigen lieſs und viele Versuche, namentlich auch in Gegenwart des Königs Carl's II. und des Prinzen Robert, anstellte. Mit einem derselben, welches am einen Ende 2 Zoll, am andern 21 Z. Durchmesser und 5,5 Fuſs Länge (sämmtlich englisches Maſs) hatte, machte er Versuche zu Deal und es zeigte sich, daſs die menschliche Stimme hierdurch auf 3 engl. Meilen weit fortgepflanzt wurde[1]. Als diese Erfindung bekannt wurde, maſste sich Athanas. Kircher[2] dieselbe an, und berief sich dabei auf das, was hierüber von ihm schon 20 Jahre früher bekannt gemacht worden sey, allein in der Schrift, worauf er sich bezieht[3], ist bloſs von Röhren die Rede, durch die der Schall vom Munde des Redenden zum Ohre des Hörenden fortgepflanzt wird, und erst später gab er an, daſs sein Hörrohr auch als Sprachrohr gebraucht werden könne, wenn man es umkehre. Wenn er sich auf Schott und Harsdörfer beruft, so reden diese bloſs von seinem Hörrohre, er selbst aber giebt den Albanus Ghibbisius, den Fr. Eschinardus und Caspar Schott als Zeugen an, daſs er vermittelst eines Rohrs aus seinem Zimmer im Collegium zu Rom den Thürwärter gerufen habe; allein auch dieses geschah der Beschreibung nach vermittelst einer bloſsen Röhre. Mehr Aehnlichkeit mit einem wirklichen Sprachrohre scheint dasjenige Instrument gehabt zu haben, womit der Augustinermönch Salar[4] etwa 7 bis 8 Jahre früher die schwache Stimme eines Bassisten zu verstärken vorschlug. Einige wollten die Erfindung des Sprachrohrs in die Zeiten Alexander's d. Gr. versetzen, von welchem Kircher[5] aus einer alten Handschrift des Aristoteles (*de*

---

1 An Account of a speaking trumpet, as it has been contrived by Sam. Morland. Lond. 1761. Vergl. Phil. Trans. T. VI. N. 79. p. 3056.

2 Phonurgia nova. Romae 1673.

3 Musurgia universalis seu ars magna consoni et dissoni. Romae 1650. fol. Vergl. Derham Physico-theologia. Lond. 1754. 8. L. IV. cap. 3.

4 Journ. des Savants edit. de Hollande. T. III. p. 126.

5 Ars magna lucis et umbrae. Amst. 1671. fol. p. 102. Nach Kircher's Beschreibung lieſs Salar 1654 in Paris ein solches Horn nachmachen. S. Hassenfratz in Ann. de Chim. T. L. p. 297.

Secretis ad Alexandrum magnum) anführt, er habe ein Horn gehabt, womit er sein Kriegsheer auf 100 Stadien weit zusammenrufen konnte. Auch Morhof[1] redet von diesem Instrumente, welches man *Tuba stentorophonica* (vom Stentor, dem starken Schreier im Homer) nennt, und führt die Stelle aus jenem untergeschobenen Buche des Aristoteles an, welches aus dem Arabischen übersetzt 1516 zu Rom gedruckt wurde, wonach also mindestens die Araber schon das Sprachrohr gekannt hätten; allein es ergiebt sich bald, daſs jenes nur ein Kriegshorn war, wie man solche allerdings im höchsten Alterthume kannte[2]. Was man bei Porta findet, bezieht sich gleichfalls bloſs auf das Hörrohr[3].

Daſs das Sprachrohr zunächst oder überhaupt bloſs durch das Zusammenhalten der Schallstrahlen, ohne theilnehmenden Einfluſs der Wandungen, wirke, wurde stets fast ganz allgemein angenommen, und die entgegengesetzte Ansicht von Musschenbroek[4], wonach die Masse des Instruments in Schwingungen versetzt werden soll, fand wenige Anhänger. In Uebereinstimmung mit der richtigern Theorie ergiebt auch die Erfahrung, daſs das Material, woraus dasselbe besteht, auf die Wirkungen keinen Einfluſs hat, und man verfertigt daher die Sprachrohre zwar meistens aus Weiſsblech, die kostbarern nur selten aus Kupferblech, jedoch ist Pappe gleichfalls dazu tauglich. Weit verschiedener sind die Meinungen über die geeignetste Form. Die ursprünglichen von Morland bestanden aus einem abgekürzten Kegel, und diese Gestalt haben auch im Allgemeinen diejenigen, deren man sich noch jetzt bedient, einige selbst ohne das sonst gewöhnliche Mundstück am engern und den trompetenförmigen Fortsatz am weitern Ende, indem die anderweitigen Vorschläge einer verbesserten Construction mindestens nicht zu allgemeinerer Anwendung gekommen sind. Cassegrain[5] schlug schon 1672 vor, ihm

---

1 Dissert. de vitro per vocis sonum rupto. In Diss. acad. Hamb. 1699. 4.

2 Goguet Ursprung der Gesetze, Künste und Wissenschaften. Th. I. S. 326.

3 Magia naturalis. L. XX. c. 5. Vergl. Sturm's Collegium curiosum. P. II. tent. 8.

4 Introduct. ad Phil. Nat. T. II. §. 2256.

5 Journal des Savants. T. III. p. 181.

Digitized by Google

eine hyperbolische Form zu geben, so daſs die Axe des Rohrs die Asymptote der Hyperbel bilde. Conyers[1] hat mehrere Formen angegeben, zieht aber die Gestalt einer Glocke vor, deren oberer Theil parabolisch gekrümmt seyn soll, damit der Schall durch ein seitwärts angebrachtes Rohr in den Brennpunct der Parabel gelangt. Der Theorie nach müſste diese Gestalt die stärkste Wirkung leisten, indem die sämmtlichen reflectirten Schallstrahlen der Axe parallel fortgestoſsen zu einem Cylinder vereinigt würden; allein die Erfahrung stimmt hiermit nicht überein. Joh. Matthias Hase[2] setzte das Sprachrohr aus einem elliptischen und einem parabolischen Stücke zusammen, so daſs der Mund sich in dem einen Brennpuncte der Ellipse befinden soll, während der andere zugleich der Brennpunct der Parabel ist. Auch dieses müſste der Theorie nach viel leisten, was jedoch die Erfahrung nicht bestätigt. Man sucht die Ursache hiervon in dem Umstande, daſs der Schall nicht wohl genau in dem einen Brennpuncte seyn kann, mir scheint jedoch die ganze bisher angenommene Theorie auf unrichtigen Principien zu beruhen. Martin[3] bemerkt mit Recht, daſs die parallele Zurückwerfung der Schallstrahlen zur Vermehrung ihrer Stärke gar nicht wesentlich ist, vielmehr die zahllosen Reflexionen und Reciprocationen hindert, wodurch nach Newton die Verstärkung hauptsächlich bewirkt werde. Die Verstärkung des Fortgestoſsenwerdens des Schalles beruhe nämlich auf der Zahl der Zurückstoſsungen der Schallwellen von den Seitenwandungen des Rohrs und hänge daher ab von der Länge desselben und von einer solchen Gestalt dieser Wandungen, wodurch jene Zurückstoſsungen am meisten befördert würden, wonach die parabolische gerade am wenigsten geeignet sey, statt daſs die logarithmische oder logistische Curve die gröſsten Vorzüge darbiete.

Die gangbare Theorie des Sprachrohrs ist diejenige, welche Lambert[4] gegeben hat, wovon ich jedoch nur die Ele-

---

1 Phil. Trans. for 1678. N. 141. p. 1027.

2 Dissert. de Tubis stentoreis. Lips. 1719. 4.

3 Martin's Philosophia Britannica, or System of the Newtonian Philosophy. III. T. 8. Lond. 1771. T. II. p. 248.

4 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1763. Uebers. von Huth Berl. 1796. Man findet sie ausführlich in G. U. A. Vieth Anfangsgründe

mente mittheile, weil sich die Unrichtigkeit derselben leicht nachweisen läſst. Nach ihm gehn Schallstrahlen von einem Puncte des redenden Mundes aus, werden wiederholt von den glatten Wänden des Sprachrohrs so oft reflectirt, bis sie sich zu einem Cylinder gestalten, und hierin liegt die Bedingung ihrer weiten Fortpflanzung. Heiſst dann der Winkel an der Spitze des Sprachrohrs $= \varphi$, so wird der Schall im Verhältniſs von $2\,(\sin.^2 \frac{1}{2}\varphi) : 1$ verstärkt. Hieraus ergeben sich die vortheilhaftesten Dimensionen des Sprachrohrs. Zur untern Oeffnung desselben nimmt man den doppelten Abstand der Spitze des Kegels vom Mundloche und diese Gröſse, dividirt durch $4\,(\sin.^2 \frac{1}{2}\varphi)$ von der Spitze an gerechnet zur Länge, wonach also bei einem 6 Fuſs langen Sprachrohre der Winkel an der Spitze $16^\circ\, 17'$ betragen und der Schall um das 96fache verstärkt werden würde. Die gründlichsten Untersuchungen dieses Problems sind durch Hassenfratz[1] angestellt. Zuerst fand er, das eine cylindrische Röhre von 0,6 Met. Länge und 0,038 Meter Weite das Picken einer Taschenuhr auf 2,25 Meter Entfernung hörbar machte, da es ohne diese schon in 1,1 Meter Entfernung nicht mehr wahrnehmbar war, woraus also hervorgeht, daſs eine cylindrische Röhre auch ohne die vermeintliche Reflexion der Schallstrahlen diese weiter fortpflanzt. Nach Lambert's Theorie muſste ferner das trompetenförmige Stück an der weiten Mündung der Sprachrohre, das sogenannte *Schallstück*, ohne Wirkung seyn, auch räth er, dieses wegzulassen; Versuche ergaben jedoch, daſs die Schallfortpflanzung bedeutend dadurch vermehrt wird, weswegen man dasselbe auch allezeit angebracht findet, ja selbst durch ein cylindrisches Rohr wird der Schall weiter fortgepflanzt, wenn sich ein solches Schallstück an seinem entfernten Ende befindet. Zur weitern Prüfung der Theorie einer Zurückwerfung der Schallstrahlen schob Hassenfratz in ein blechernes Sprachrohr eine Ueberkleidung von Wollenzeug und schreibt die dadurch bewirkte unbedeutende Schwächung bloſs der Verengerung desselben zu; es hätte aber die Fortpflanzung gänzlich aufhören müssen, da eine Reflexion von

Fig. 163.

---

d. Math. Th. II. Abth. 1. Leipz. 1824. S. 332. Vergl. Lambert über einige akustische Instrumente. Berl. 1799.

1 Ann. de Chim. T. L. p. 297.

dem weichen wollenen Zeuge unmöglich war. Hassenfratz[1] hat selbst später noch andere Constructionen des Sprachrohrs angegeben, wodurch ihre Wirkung verstärkt werden sollte, es scheint aber nicht, daſs der Erfolg diese Vermuthung bestätigt habe; wenn aber Gough[2] die ganze Wirkung dieses Instruments auf die Zurückwerfung der Schallstrahlen von tönenden Flächen zurückführen will, so zeigt sich dieses bald als so wenig begründet, daſs es keiner ausführlichen Widerlegung bedarf. Endlich hat auch Prechtl[3] eine Erklärung der Wirkungen des Sprachrohrs auf das durch v. Busse in Anregung gebrachte pneumatische Paradoxon gegründet, allein bekanntlich findet letzteres überall nicht statt[4] und es scheint mir daher überflüssig, auf diese Untersuchung weiter einzugehn.

Wenn wir die eigentliche Beschaffenheit der Schallwellen genau auffassen, so ist es mit der Vorstellung von dieser ganz unverträglich, sich dieselben als fortgehende, an die Wandungen der Röhren stoſsende und in einem dem Einfallswinkel gleichen Ausfallswinkel reflectirte Strahlen zu denken[5], wenn auch der einmal eingeführte Ausdruck von Schallstrahlen beibehalten werden kann. Ein schallender Körper erzeugt vielmehr, der bisher consequent durchgeführten richtigen Ansicht gemäſs, rund um ihn sich verbreitende Schallwellen, die in stets gröſserm Kreise auslaufend soweit fortgehn, bis sie eben durch diese Ausbreitung und den Widerstand geschwächt, welcher jede Bewegung hindert, zu schwach werden, um die Gehörnerven noch weiter zu afficiren. Wird der Schall im einen Ende einer cylindrischen Röhre erzeugt, oder dringt er sogleich beim Entstehn in dasselbe ein, so bilden sich cylinderförmige Wellen, die sich nicht nach auſsen ausbreiten können und daher mit ganzer Stärke auf die Bildung einer Welle in der zu-

1 Journ. de Phys. T. LVI. p. 18. T. LX. p. 20. G. XIX. 145.

2 Nicholson's Journ. of Nat. Phil. 1805. Mar.

3 G. XXIII. 261.

4 Vergl. *Pneumatik*. Bd. VII. S. 639.

5 Die Unzulässigkeit der Vorstellungen, wonach man sich die fortgehenden Schallwellen als die Strahlen denkt und nach Art der Katoptrik eine *Katakustik* und *Kataphonik* bildet, hat schon La Grange in Miscell. Taur. T. I. 1759. und später Poisson in Journ. de l'École polyt. T. VII. p. 350. gezeigt.

nächst sie berührenden Luftschicht wirken, sie würden also bis zu jeder gegebenen Entfernung fortschreiten, wenn jede folgende Welle auf gleiche Weise und mit gleicher Stärke, als die erste oder die ersten, gebildet würde; da aber jede Zusammendrückung oder Ausdehnung irgend einer Körpermasse mit einiger Reibung der elementaren Theilchen verbunden ist, so liegt in der Summe dieser stets wiederkehrenden Hindernisse ein Grund des endlichen Aufhörens der einmal mitgetheilten Bewegung. Aus dieser Ansicht folgt mit der Erfahrung übereinstimmend, daſs der Schall durch die Luft in cylindrischen Röhren weiter als durch feste Körper fortgepflanzt werde, und das Wasser müſste zwischen beiden in der Mitte liegen. Wo die cylindrischen Röhren enden, fangen die Wellen an, ihre Form zu verlieren, sich auszubreiten, und der Schall wird zu keiner weitern Ferne gelangen, als die er auch ohne die Röhre erreicht hätte, weniger derjenigen Entfernung, die der in der Röhrenstrecke bereits angenommenen Schwächung der Schallwellen proportional ist. Die Entfernung, bis zu welcher die anfangs in cylindrischen Röhren fortgehenden Schallwellen gelangen, muſs jedoch der Theorie nach wachsen, je länger die leitende Röhre ist, weil der aus den einzelnen Wellen bestehende Schallcylinder durch die öfter wiederkehrenden Oscillationen eine mehr bleibende Gestalt angenommen hat. Hiermit stimmen die Erfahrungen von Hassenfratz überein, ohne daſs sie jedoch ein bestimmtes Verhältniſs dieser beiden Gröſsen angeben. Aehnliche Wirkungen erzeugt auch das Sprachrohr. In diesem breiten sich zwar die fortgehenden Schallwellen aus, aber bei weitem nicht so unbegrenzt, als im freien Raume, und auſserdem nach einem bestimmten Gesetze, welches durch die Form des Instruments gegeben wird, wobei eine gleichmäſsige Succession, die der kegelförmigen Gestalt zugehört, am vortheilhaftesten zu seyn scheint. Auch hierbei folgt die gröſsere Wirkung der längern Sprachröhre aus dem bisher Gesagten von selbst, welcher Winkel der Seitenwandungen aber für die weitere Fortpflanzung am geeignetsten sey, scheint mir so lange unbestimmbar zu seyn, als wir die Breite der einzelnen wellenartig verdichteten und verdünnten Massen und die eigentliche Beschaffenheit derselben rücksichtlich dieser Modificationen nicht kennen. Indem nämlich die vor- und rück-

wärtsschreitenden Wellen in dem konischen Rohre oscilliren, erhalten sie durch die im Fortschreiten ihnen gestattete Ausbreitung und die beim Rückgange statt findende Zusammendrückung jederzeit einen erneuerten Impuls zum Fortgehn; sie stemmen sich zuletzt gegen das Schallstück, und müssen daher in ungleich gröſsere Fernen gelangen, als wenn sie im freien Raume oder auch anfangs in einer cylindrischen Röhre sich bewegen. Uebereinstimmend mit dieser Erklärung ist die §. 44. bereits erwähnte Verstärkung des Schalles durch Resonanz.

Hieraus ergiebt sich, daſs die Sprachröhre nicht füglich zu lang seyn können, bis sie sich wegen zu groſser Länge nicht wohl mehr handhaben lassen. Man hat sie in England bis zu 24 engl. Fuſs lang dargestellt, und dieses dürfte wohl als das Maximum gelten, was sonst nicht überschritten seyn wird. Auf den Schiffen hat man meistens kleinere zum Anrufen anderer Schiffe, deren Gröſse selten etwa 4 bis höchstens 6 Fuſs bei ungefähr 2 Zoll und 6 bis 10 Zoll Durchmesser der beiden Oeffnungen übersteigt. Ueber die absolute Entfernung, bis wohin sie den Schall zu tragen vermögen, hat man nur wenig zahlreiche und keine absichtlich wissenschaftlich angestellten Beobachtungen, weil diese eine freie, wenig bewohnte und stille Gegend erfordern. Nach Vieth's[1] Versuchen erstreckte sich an stillen Winterabenden die *bequeme* Rufweite mit einem 4,5 fuſsigen Sprachrohre nicht über 5000 Fuſs, Morland aber machte bei seinen bereits erwähnten ersten Versuchen zu Deal die Stimme eines Mannes mit einem 5,5 fuſsigen Rohre schon bis 15000 engl. Fuſs hörbar. Hutton[2] erwähnt Versuche, wobei die Worte vermittelst eines 16,6 fuſsigen Rohres auf 1800 und vermittelst eines 24 engl. Fuſs langen auf 2500 geometrische Schritte verstanden wurden. Hieraus geht schon hervor, daſs ein groſser Unterschied statt findet, ob man articulirte Worte versteht oder bloſs einen nicht ganz verschwundenen Schall noch wahrnimmt. Sehr gute Sprachröhre zwischen 6 und 8 Fuſs lang habe ich einst auf dem Wilhelmsstein (einer kleinen von Wasser umgebenen Festung) unweit Bückeburg gesehn, und

1 A. a. O. S. 348.
2 Dictionary of nat. Phil. T. II. p. 542.

Digitized by Google

man versicherte mich, daſs man vermittelst derselben mit dem fürstlichen Schlosse communicire, dessen Entfernung auf fast ½ Stunde oder ungefähr 9000 Fuſs geschätzt wurde. Auſserdem fand ich einmal Gelegenheit, auf einem einsamen Gute unweit Oppeln in Schlesien Sprachröhre zu probiren, mit denen die Arbeiter im Felde benachrichtigt wurden. Mit den besten, die gegen 10 Fuſs Länge haben mochten, konnte der Schall einer starken Mannsstimme unter günstigen Umständen nicht weiter als bis auf eine Entfernung vernehmlich gemacht werden, die nach Schätzung 1,25 Stunden betrug. Hiernach und nach den Versuchen von Morland schätze ich die gröſste Entfernung, bis zu welcher eine starke Mannsstimme durch das längste Sprachrohr von 18 bis 24 Fuſs Länge noch überhaupt hörbar bleibt, auf 18000 Fuſs.

85) Eigenthümlich modificirt wird der in der Luft fortgepflanzte Schall durch die sogenannten *Sprachgewölbe*, (*Flüstergallerieen, Sprachsäle; fornix acusticus;* voûte acoustique, cabinet secret; *whispering-place*), Räume, in denen die Schallwellen von einem oder von mehreren Puncten aus durch Reflexion in einen Punct vereint bedeutend verstärkt werden, während man sie in den übrigen Theilen dieser Räume wenig oder gar nicht hört. Diese Wirkung erfolgt leicht, wenn Gemächer eine parabolische oder elliptische Wölbung haben, und überhaupt muſs man bei Rede- und Musiksälen mit allen Arten von Wölbungen vorsichtig seyn, weil sonst leicht eine solche Concentrirung der Schallwellen entsteht, die für die Zuhörer im hohen Grade unangenehm wird, weil die Vereinigung der verschiednen reflectirten Schallwellen nicht gleichzeitig erfolgt und daher ein unverständliches, brausendes Getöse erzeugt. Wie leicht die Schallwellen in gewölbten Räumen, nach Art der Lichtstrahlen in einem Hohlspiegel, vereinigt und verstärkt werden, zeigte sich unter andern zufällig auf einem Schiffe, welches unfern der Küste von Brasilien hinfuhr, in dessen aufgespanntem Segel der Schall so sehr condensirt wurde, daſs man an einer bestimmten Stelle vor demselben das Geläute der Glocken zu St. Salvador auf 100 engl. Meilen weit hörte[1]. Man versteht indeſs unter Flüstergallerieen oder Sprachgewölben solche Zimmer, in de-

1 Arnott in Silliman Amer. Journ. N. XIX. p. 190.

nen man an einer bestimmten Stelle dasjenige deutlich hört, was an einer andern leise geredet wird.

Man findet Flüstergallerieen oder solche Sprachgewölbe häufig, wo sie absichtlos entstanden sind; ja es ist bei Räumen, die von gekrümmten Flächen eingeschlossen sind, oft schwierig, die nachtheilige Verstärkung des Schalles zu vermeiden, und muſste deswegen das chemische Auditorium zu München inwendig mit wollenem Zeuge ausgekleidet werden, um diesem Fehler zu begegnen. Interessant sind in dieser Hinsicht die Wölbungen im Thurme der Marienkirche zu Dresden, wo man an keiner Stelle einen Wiederhall wahrnimmt. Zu den mehrerwähnten Sprachgewölben gehört hauptsächlich das sogenannte Ohr des Dionysius (orecchio di Dionisio, grotta della favella) zu Syracus[1], welches seinen Namen von der Sage erhalten hat, daſs der Tyrann Dionysius die Gefangenen in diese Räume eingesperrt und dann ihre Reden belauscht habe. Es sind jedoch Steinbrüche und die akustische Eigenschaft der Höhlungen ist zufällig entstanden, auch waren die Wirkungen früher stärker als jetzt, da die spiralförmige Gestalt von mehrern sich verändert hat, doch hört man noch jetzt das Zerreiſsen eines Stückchens Papiers von einem Ende des Gewölbes bis zum andern auf eine Entfernung von 47,5' Fuſs. In der Kathedralkirche zu Girgenti in Sicilien hört man das, was am einen Ende bei der verschlossenen Thüre geredet wird, sehr deutlich am andern, dazwischen aber verschwindet der Schall[2]. In der Sternwarte zu Paris befindet sich ein absichtlich elliptisch gewölbtes Zimmer, welches die erwartete akustische Eigenschaft hat; sehr berühmt ist die Kuppel der Paulskirche zu London, wo man das Ticken einer Taschenuhr oder ein leises Flüstern von einer Seite der Gallerie bis zur andern hört, und in der Kirche zu Glocester verstärkt das Gewölbe an der Ostseite des Chors den Schall so sehr, daſs zwei leise redende Personen sich auf der Gallerie auf einen Abstand von 25 Toisen leicht verstehn können[3]. Am Rathskeller zu Bremen findet sich gleichfalls eine Flüstergallerie und an mehrern andern Orten.

1 Kircheri Phonurgia. Vergl. Beckmann Beiträge zur Gesch. d. Erfind. Th. I. S. 467.

2 Brydone in Mém. de l'Acad. de Turin. 1788 u. 1789.

3 Birch History of the Roy. Soc. T. I. p. 120.

jedoch hat man die meisten einer Beschreibung nicht werth geachtet. Ueberhaupt erzeugen kreisförmig zusammenstoſsende Gebäude, oder wenn sie in ihrer Anordnung irgend eine andere Curve bilden, leicht ein Echo oder eine Verstärkung des Schalles[1], wie der Königsplatz in Cassel, ein schöner, mit Pallästen bebaueter Platz zu Bath (*the Crescent*) und mehrere andere, gröſstentheils gar nicht beachtete Orte.

B. Fortpflanzung des Schalles durch verschiedene Gasarten.

86) Die sämmtlichen Gasarten kommen rücksichtlich ihrer wesentlichsten Eigenschaften mit der Luft überein und auch selbst bei den nicht permanenten Gasarten, den Dämpfen, sind diejenigen Bedingungen vorhanden, die bei der Schallfortpflanzung in Betrachtung kommen; es müssen daher in ihnen auf ganz gleiche Weise Wellen erzeugt werden, wie in der atmosphärischen Luft, und der Theorie nach scheint es, als könnten alle dabei vorkommende Verschiedenheiten aus den bekannten Eigenschaften der Gase, insofern diese von denen der atmosphärischen Luft abweichen, abgeleitet werden. Es kommen hierbei zwei Fragen in Betrachtung, zuerst die Stärke und zweitens die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung. Rücksichtlich der ersten Frage kennt man selbst bei der atmosphärischen Luft die Sache noch nicht vollständig. Es ist nämlich zwar bekannt, daſs die dichtere Luft den Schall stärker leitet, als die dünnere, und daſs er im stärksten Vacuum gar nicht wahrnehmbar bleibt, auch sind oben §. 75. Erfahrungen beigebracht worden, welche den Einfluſs der Dichtigkeit der Luft auf die Stärke des in ihr fortgepflanzten Schalles deutlich beweisen, allein das Verhältniſs beider Gröſsen zu einander ist noch keineswegs völlig bestimmt und es stehn einer genauen Feststellung dieses Gesetzes auch insofern kaum übersteigliche Hindernisse entgegen, als wir kein Werkzeug haben oder für die vorliegende Aufgabe in Anwendung bringen können, durch welches die Stärke des Schalles nach dem Durchgange durch expansible Flüssigkeiten von ungleicher Dichtigkeit sich mit der erforderlichen Genauigkeit messen

1 Lichtenberg vermischte Schriften. Th. VIII. S. 229.

Digitized by Google

lieſse. Schon Hawksbee[1] fand aus seinen Versuchen, daſs der Schall eines Weckers in verdichteter Luft verstärkt wurde, und in vielen Cabinetten finden sich noch Apparate, die bestimmt sind dieses zu zeigen, indem man sie unter einen Recipienten mit verdichteter Luft stellt und dann eine an ihnen befindliche Glocke zum Tönen bringt, allein dieses ist mit keiner genauen Messung verbunden. Aehnliche Versuche haben s'Gravesande[2] und Zanotti[3] angestellt. Leslie[4] lieſs eine Glocke unter einer mit Wasserstoffgas gefüllten Campane tönen, dessen Elasticität 28 engl. Zoll betrug, und fand den Schall nicht stärker als in hundertmal verdünnter Luft. Hiernach nimmt er an, daſs die Stärke des Schalles in den verschiedenen expansibeln Flüssigkeiten dem Quadrate ihrer Dichtigkeit proportional sey, welches also für Wasserstoffgas eine Dichtigkeit = 0,1 geben würde, die der atmosphärischen Luft als Einheit angenommen. Obgleich diese Bestimmung für gewöhnlich bereitetes Wasserstoffgas recht gut paſst, so übersieht man doch bald, daſs dabei von einer eigentlichen scharfen Messung die Rede nicht sey. Zahlreichere Versuche machte schon Priestley[5] mit Anwendung eines gleichen Apparates und gelangte gleichfalls zu dem Resultate, daſs die Stärke der Fortpflanzung ausschlieſslich von der Dichtigkeit der Gase abhänge. Im Wasserstoffgas fand er den Schall fast so wenig hörbar als im Guericke'schen Vacuum, in kohlensaurem Gas soviel stärker, daſs die Entfernung ungefähr um die Hälfte mehr betrug, und auch Sauerstoffgas leitete den Schall besser, als seiner Dichtigkeit nach zu erwarten war. Am vollständigsten sind die auf ähnliche Weise angestellten Versuche von Perolle[6], nach welchem jedoch die Leitungsfähigkeit des kohlensauren Gases geringer ist, als die der atmosphärischen Luft. Wird die letztere als Einheit angenommen, so ist die des Sauerstoffgases = 1,135, des Salpetergases = 1,23,

1 Phil. Trans. T. XXIV. p. 1902. T. XXVI. p. 367.

2 Elementa Phys. math. §. 2354.

3 Comment. Bonon. T. I. p. 173.

4 Ann. of Philos. 1822. Sept. p. 172. Cambridge Phil. Trans. T. I. p. 267. Edinb. Phil. Journ. N. XIII.

5 Experiments and observations cet. T. III. p. 355.

6 Mém. de l'Acad. de Toulouse 1781. Mém. de l'Acad. de Turin. 1786 u. 1787. T. III. Mém. des Etrang. I.

Digitized by Google

des kohlensauren Gases (aus Kreide und verdünnter Salpetersäure) = 0,82, des Wasserstoffgases = 0,234. Ueber die Stärke des Schalles in Dämpfen hat Biot[1] Versuche angestellt. Er brachte zu diesem Ende in einen Recipienten, worin sich eine Glocke zum Tönen befand, nach dem Auspumpen der Luft etwas Wasser, und fand, daſs er den Schall der Glocke gar nicht wahrnahm, so lange die Temperatur gering war, welcher jedoch schwach hörbar wurde, nachdem er den Apparat in ein heiſseres Zimmer gebracht hatte. Als er nachher Alkohol und Aether hineinbrachte und diese nach dem Exantliren in Dampf verwandelt wurden, war bei gleichen Temperaturen auf gleiche Entfernungen der Schall in den Dämpfen des Aethers am stärksten und in denen des Wassers am geringsten.

87) Die zweite Frage, über die Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung in den verschiedenen expansibeln Medien, ist neuerdings durch Dulong so vollständig beantwortet worden, daſs es genügen wird, hier nur die Resultate seiner Untersuchungen mitzutheilen, indem er dabei auch die frühern Arbeiten im diesem Gebiete berücksichtigt hat. Die ersten bekannten Versuche hierüber stellte Chladni[2] an, und da es unmöglich oder mindestens kaum ausführbar ist, so lange Räume mit den zu prüfenden Gasarten zu füllen, als vergleichbare Versuche über den Fortgang des Schalles durch dieselben erfordern würden, so wählte er das einfachere und zugleich sichere Mittel, die nämlichen Pfeifen durch verschiedene elastische Flüssigkeiten tönen zu lassen und aus der Tonhöhe die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen. Zu den Versuchen, wobei ihn v. Jacquin durch die erforderlichen Apparate und R. Döttler nebst Tihavsky durch geleistete Hülfe unterstützten, bediente er sich einer zinnernen Pfeife, die auf einer Campane so befestigt war, daſs beide vorher in einer Wanne mit Wasser gefüllt werden konnten, um die enthaltene Gasart völlig auszutreiben. Alsdann wurde die Campane und eine an ihr befindliche Blase mit der zu prüfenden Gasart gefüllt, durch Gleichstellung der Wasserhöhe im Innern und auſserhalb der Campane die Elasticität der Gasart dem Barometerstande pro-

1 Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 94. Nouveau Bullet. de la Soc. Philom. 1808. Janv. p. 76. G. XXXIII. 237.

2 Voigts Magaz. Th. I. St. 3. S. 65. Akustik S. 226.

portional gemacht und dann durch Drücken der Blase ein Ton erzeugt. Zu besserer Vergleichung wurde allezeit zuerst atmosphärische Luft angewandt und dann der erzeugte Ton auf einem Monochorde genau gestimmt. Die erhaltenen Resultate stimmten jedoch nicht mit der Theorie, wonach die Geschwindigkeiten des Schalles in den Gasen den Quadratwurzeln aus ihren Dichtigkeiten nach Newtons Formel §. 69. umgekehrt proportional seyn müſsten, überein, vielmehr zeigten sich die durch folgende Zusammenstellung übersichtlichen Abweichungen.

Gasarten	Dichtigkeit	Geschwindigkeit in par. F.		
		Berechnet	Beobachtet	Unterschiede
Atmosphärische Luft . .	1,000	1038	1038	0000
Sauerstoffgas	1,103	988	955	— 33
Stickgas	0,985	1045	990	— 55
Wasserstoffgas	0,084	3580	2250	— 1330
Kohlensäure	1,500	847	840	— 7
Salpetergas	1,195	949	980	+ 31

Die Bestimmungen sind nicht absolut genau, jedoch die Unterschiede gröſser, als daſs das angenommene Gesetz mit diesen Resultaten in Einklang zu bringen wäre. Auſserdem bemerkte Chladni die merkwürdige Anomalie, daſs ein künstliches Gemenge von Sauerstoffgas und Stickgas die nämliche Geschwindigkeit der Fortpflanzung zeigte, als atmosphärische Luft, und daſs bei Verbindungen beider Gasarten in verschiedenen Verhältnissen die Fortleitungsgeschwindigkeit nicht dem arithmetischen Mittel aus beiden Mengen gleich kam. Ist endlich die Geschwindigkeit im Wasserstoffgas weit geringer, als sie der Theorie nach seyn sollte, so ist sie doch weit gröſser als in jeder andern Gasart, was auch mit dem Resultate einer zufälligen Beobachtung übereinkommt. Maunoir athmete nämlich Wasserstoffgas ein, was ihm keinen Nachtheil brachte, aber er fand nachher seine Stimme ungleich höher und schärfer[1].

1 Bibl. Brit. Nr. 79. 80. p. 347. Voigts Mag. II. 1. p. 118. G. II. 200.

Kerby und Merrik[1] stellten viele Versuche an, bei denen sie eine Pfeife und einen Blasebalg unter einen Recipienten brachten und durch letztern in der erstern Töne erzeugten, nachdem sie sie luftleer gemacht und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt hatten. Die beobachteten Tonhöhen wurden mit einem Monochord gemessen und daraus die Schallgeschwindigkeiten berechnet; indeſs scheinen mir ihre nicht ohne Ueberwindung groſser Schwierigkeiten erhaltenen Resultate in Vergleichung mit dem, was später aufgefunden worden ist, einer nähern Beschreibung nicht werth zu seyn. Ebendieses scheint mir der Fall bei den früher sehr schätzbaren Versuchen von Benzenberg[2], wobei er sich nach der durch Chladni befolgten Methode einer Campane mit eingesenkter Pfeife und einer angebrachten Blase bediente, welche im hydropneumatischen Apparate mit der erforderlichen Gasart gefüllt wurden. Statt der bloſs genäherten Temperaturbestimmung seines Vorgängers versah er die Campane zur genauern Messung mit einem Thermometer. Interessant ist die durch Benzenberg gegebene Zusammenstellung der Resultate der drei genannten Versuchsreihen.

Geschwindigkeit des Schalles bei 0° C., die in atmosphärischer Luft = 1027 par. F. angenommen.

	Chladni	Kerby u. Merrick	Benzenberg
Sauerstoffgas .	923	980	942
Stickgas	966	1080	1032
Kohlensäure .	857	864	860
Salpetergas . .	970	1154	—
Wasserstoffgas .	2070	2180	2054

Die Unterschiede sind so bedeutend, daſs man nicht wohl umhin kann, die Ursache hiervon zum Theil in der befolgten Methode zu suchen. Gilbert bemerkt auch mit Recht, daſs es eine schwere Aufgabe sey, ganz reine Gase zu erhalten, daſs geringe Beimischungen schon einen bedeutenden Einfluſs

1 Nicholson's Journ. of nat. phil. T. XXVII. p. 269. T. XXXIII. p. 161. G. XXXIX. 438.

2 G. XLII. 12.

Digitized by Google

haben können und daher die Resultate mit kohlensaurem Gase deswegen wohl am genauesten übereinstimmen, weil dieses Gas am leichtesten rein zu erhalten ist. Auſserdem zeigt derselbe, daſs alle drei Experimentatoren auf einen wesentlichen Umstand nicht Rücksicht genommen haben, nämlich auf die hygrometrische Beschaffenheit der Gase, daſs es daher bei solchen Versuchen besser seyn dürfte, sie mit vollkommen feuchten Gasen anzustellen und wegen des Feuchtigkeitszustandes zu corrigiren. Inzwischen beträgt diese Correction nicht viel, wie aus §. 69. zu entnehmen ist. Benzenberg hat auch Versuche über die Schallgeschwindigkeit in Dämpfen angestellt. Hierbei ist es interessant zu erfahren, mit welcher Leichtigkeit man diese anstellen kann, indem es hierzu weiter nichts bedarf, als eines hohlen Cylinders, den man in die obere Oeffnung eines mit Wasser gefüllten, über dem Feuer stehenden Gefäſses dampfdicht einsteckt und inwendig mit einer Pfeife versieht, in welcher die durchströmenden Dämpfe einen Ton erzeugen. Die gebrauchte Pfeife gab mit atmosphärischer Luft $\overline{\overline{c}}$ und durch die Dämpfe $\overline{\overline{d}} - \frac{1}{16}$. Die hinzugefügten Berechnungen übergehe ich, da es ihnen an hinlänglich scharfen Werthbestimmungen fehlt.

Unter den verschiedenen für diesen Zweck angegebenen Apparaten scheint mir derjenige am besten zu seyn, welchen Biot[1] beschreibt, indem er sich durch Einfachheit und eine leichte Behandlungsweise vor allen andern auszeichnet und wahrscheinlich noch einfacher dargestellt werden könnte, als er angegeben ist. Er besteht aus einem etwas groſsen Behälter MM, welcher als rund angegeben ist, besser aber länglich cylindrisch und mit einem Fuſse versehn seyn könnte. (Fig. 164.) Durch eine Oeffnung soll das Barometer bb in das Innere herabgesenkt werden, um die Dichtigkeit der Luft im Recipienten zu messen; allein dieses scheint mir überflüssig zu seyn und erschwert die Manipulation des Apparates ausnehmend, denn wenn der Ballon luftleer gemacht wird, so giebt das Barometer der Luftpumpe den Grad der Verdünnung an, bei der Erzeugung der Töne aber muſs die Gasart aus der Blase in die Pfeife strömen, was nicht wohl gehörig geschehn

1 Traité. T. II. p. 176.

kann, wenn die eingeſchloſſene Gasart eine von der äuſsern Luft verſchiedene Elaſticität hat, endlich aber muſs jede zu prüfende Gasart ſtets mit der atmoſphäriſchen Luft verglichen werden und mit dieſer daher einerlei Spannung haben. Sehr zweckmäſsig iſt dagegen das Verbindungsſtück mit dem Hahn R, vermittelſt deſſen der Apparat auf die Luftpumpe geſchraubt, exantlirt und dann mit der erforderlichen Gasart gefüllt werden kann. Dieſe Vorrichtung gewährt den Vortheil, daſs das Tönen durch das zu prüfende Gas und in demſelben auf gleiche Weiſe als bei der atmoſphäriſchen Luft geſchieht, und man erhält nicht bloſs hierdurch die Gasart möglichſt rein, ſondern auch durch Anwendung des leichten Hülfsmittels, daſs man zuerſt nach dem Exantliren eine Quantität der zu unterſuchenden Gasart in den Ballon ſtrömen laſſen und dann abermals exantliren kann, um damit die letzten Antheile der früher darin vorhandenen Luftart zu entfernen. Die im Recipienten befindliche Pfeife AB mit ihrem zur Hälfte herausſtehenden Fuſse und dem aufgeſteckten Hahnſtücke R′ als Träger des Ballons V von Federharz iſt aus der Zeichnung an ſich klar. Biot bemerkt, daſs der Druck gegen dieſen Ballon oder eine Blaſe ſtets gleichmäſsig geſchehn müſſe, weil ein ſtärkerer Luftſtrom den Ton abändere; auch ſey es vortheilhaft, die Pfeife auf die von Grenié vorgeſchlagene Weiſe zu compenſiren, woraus jener noch ein Geheimniſs mache, allein der gleichmäſsige Zufluſs der Gasart iſt allerdings nothwendig und muſs daher auf irgend eine Weiſe erſtrebt werden; iſt dann aber die Pfeife eine an beiden Enden offene, was am beſten die Unveränderlichkeit des Tones bewirkt, ſo ſind bei allen unter gleichem Barometerſtande und in gleicher Temperatur angeſtellten Verſuchen die ſämmtlichen Bedingungen bis auf das tönende elaſtiſche Fluidum gleich und die Tonhöhen der atmoſphäriſchen Luft und der zu prüfenden Gasart können alſo vermittelſt eines Monochords gemeſſen werden.

Biot entwickelt die Formeln, vermittelſt deren aus den Tonhöhen die Beſchaffenheit der angewandten Gasart, ihre Dichtigkeit, ihre ſpecifiſche Wärmecapacität u. ſ. w. aufzufinden ſind; allein die hierbei erforderlichen Correctionen wegen Temperatur und Barometerhöhe erweitern die Grenze der möglichen Fehler, die Verhältniſſe der Dichtigkeiten, in welchen

die elastischen Flüssigkeiten zu den Tonhöhen stehn, sollen eben durch diese Versuche erst ausgemittelt werden, die Hypothese von der Ausscheidung der Wärme ist aber oben §. 72. als unstatthaft dargestellt worden, und diesemnach reducirt sich die Aufgabe einzig auf die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen expansibeln Gasarten. Bei gleich langen Pfeifen, wenn bei unverändertem Thermometer- und Barometerstande und unter sonst gleichen Bedingungen zuerst der Ton mit atmosphärischer Luft und dann mit der zu prüfenden Gasart erzeugt wird, wenn man beide vermittelst eines geeigneten Apparates (etwa eines Monochords oder eines musikalischen Instruments) zur Bestimmung ihrer Tonhöhe mit einander vergleicht, wobei es am besten ist, den Ton der atmosphärischen Luft als Einheit anzunehmen, sind die Tonhöhen (§. 55.) den Geschwindigkeiten direct proportional und werden also diese letztern unmittelbar gefunden. Heiſsen dann die Geschwindigkeiten V und V′, die Dichtigkeiten D und D′, so ist nach Newton's Formel §. 69.

$$V : V' = \frac{1}{\sqrt{D}} : \frac{1}{\sqrt{D'}},$$

mithin

$$D' = \frac{1}{V'^2},$$

und es kann hiernach untersucht werden, ob die anderweitig bekannte Dichtigkeit der mit der atmosphärischen Luft als Einheit verglichenen Gasart mit der aus der Schallgeschwindigkeit gefundenen übereinstimmt oder nicht. In letzterem Falle müſste die Schallgeschwindigkeit nicht bloſs von der Dichtigkeit, sondern auch von der chemischen Natur der Gasarten abhängen.

Die meisten Versuche unter allen vor Dulong bekannt gewordenen machte Richard van Rees[1] unter der Leitung von G. Moll und gebrauchte dazu Apparate, die dem eben beschriebenen sehr ähnlich waren. Für Gasarten, die vom Wasser nicht verschluckt werden, bediente er sich der Cam-
Fig. pane A mit der Pfeife B und einer durch den Hahn C ver-
165. schlieſsbaren Fassung. Auf diese wurde die Blase E mit ihrer

1 Dissertatio de celeritate soni cet. Traj. ad Rhen. 1819. Schweigg. N. Journ. III. S. 235.

Faſsung und dem Hahn D aufgeſchraubt, die vorher auf der Luftpumpe entleert war. Die Campane ſenkte er dann ins Waſser, lieſs aus der Blaſe das erforderliche Gas einſtrömen, füllte die Blaſe wieder und brachte dann die Pfeiſe durch Einblaſen des Gaſes zum Tönen. Für die ſauren, mit Waſser miſchbaren Gasarten gebrauchte er einen gefaſsten Recipienten A mit der Pfeiſe B, dem Hahn G und dem biegſamen Rohre H, um vermittelſt deſselben und einer Luftpumpe das Gefäſs luftleer zu machen, wobei das Barometer I den Grad der Verdünnung und den nachherigen Luftdruck anzeigte, die Blaſe aber zu gleichem Zwecke wie im vorhergenannten Apparate diente. Um ſie gegen den Einfluſs der ſauren Gasarten zu ſchützen, muſste eine ſtarke, mit Birnſteinfirniſs überzogene Rindsblaſe genommen werden. Auch zur Unterſuchung der Dämpfe wurde eine eigene Vorrichtung hergeſtellt, eine Kugel A, durch die Weingeiſtlampe C geheizt, aus welcher die Dämpfe beim Aufſteigen durch die Pfeiſe B ſtrömten. Der Behälter D diente zur Aufnahme der Dämpfe und eines Thermometers, um die Hitze derſelben zu meſsen; er war daher bedeckt, doch ſo, daſs die Dämpfe daraus entweichen konnten, und die Tonhöhe wurde erſt dann gemeſsen, wenn alle Luft aus der Röhre und möglichſt auch aus dem Cylinder entfernt war. Eine gleichmäſsige Strömung der Luft wurde als nothwendige Bedingung erkannt und durch einen unveränderten Druck der Blaſe erreicht, bei den Dämpfen aber durch vorſichtige Regulirung der Flamme, damit das Sieden nicht über eine gewiſse Stärke hinausging, was aus der Gleichförmigkeit des Tones erkennbar war. Der erzeugte Ton wurde jederzeit mit demjenigen verglichen, welchen die atmoſphäriſche Luft gab, und beide nach einem Monochorde beſtimmt. Bei den Luftarten gaben die Längen der gleichſtimmenden Saiten des Monochords die Geſchwindigkeiten unmittelbar, bei den Dämpfen aber wurde eine Correction wegen der Temperatur erfordert. Sind nämlich die Saitenlängen des Monochords, die der Luft und dem Dampfe zugehören, l und l′, die Temperaturen t und t′, so iſt die corrigirte Geſchwindigkeit

Fig. 166.

Fig. 167.

$$333{,}7 \frac{l\sqrt{(1+0{,}00375\,t)}}{l'\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}} \text{ Meter.}$$

Die folgende Tabelle giebt eine Uebersicht der erhaltenen Gröſsen.

Gasarten	Temperatur	Saitenlänge	Geschwindigkeiten beob.	Geschwindigkeiten berechnet
Atmosphärische Luft	- - -	1,000	333,7	333,7
Sauerstoffgas . .	15°,6	1,054	316,6	317,7
Stickgas	12,8	0,987	338,1	339,0
Wasserstoffgas . .	16,1	0,365	914,2	1233,3
Kohlensäure . .	14,4	1,212	275,3	270,7
Kohlenoxydgas .	10,6	1,053	316,9	341,1
Oxydirtes Stickgas	17,3	1,186	281,4	270,6
Salpetergas . . .	8,0	1,077	309,8	327,4
Oelerzeugendes Gas	10,0	1,050	317,8	337,4
Schwefelwasserstoffgas	10,0	1,047	318,7	305,7
Schwefelichtsaures Gas	8,0	1,456	229,2	229,2
Salzsaures Gas . .	8,9	1,079	309,3	298,8
Ammoniakgas . .	13,3	1,857	389,4	432,0
Wasserdampf . .	10,6	0,830	369,6	422,6
Alkoholdampf . .	14,0	1,090	289,1	262,7

Den Mangel an Uebereinstimmung der berechneten und der beobachteten Geschwindigkeiten sucht van Rees aus dem Umstande abzuleiten, daſs man nach Bernoulli nicht genau bestimmen kann, wo bei angeblasenen Pfeifen der Anfang der Wellen beginnt, und aus der ungleichen respectiven Wärme der tönenden Gasarten. Das erste Argument fällt vermuthlich dann weg, wenn die nämlichen Pfeifen auf gleiche Weise angeblasen werden, über das letztere habe ich mich bereits (§. 72.) erklärt, und es ist daher fraglich, ob das angenommene Gesetz, wonach die Schallgeschwindigkeiten den Quadratwurzeln aus den Dichtigkeiten umgekehrt proportional angenommen werden, der Sache nach wirklich für begründet zu halten sey. Es scheint dieses allerdings aus Newton's Formel nothwendig zu folgen, und ich sehe kaum ein Mittel, wie man dieses triftige Argument beseitigen könnte, es sey denn, daſs man sagen wollte, die Dichtigkeit der atmosphärischen Luft bilde in dieser Formel insofern einen Factor, als sie sich ihrem Wesen nach zu einer die Erde umgebenden Atmosphäre gestaltet habe, wobei es jedoch fraglich bleibe, ob eine der andern Gasarten auf gleiche Weise eine ihrer Dichtigkeit proportionale Atmosphäre gebildet haben würde. Im Ganzen scheint mir jedoch dieses Auskunftsmittel zur Ver-

Digitized by Google

einigung der Erfahrung mit der Theorie von geringer Bedeutung. Wichtiger dürfte dagegen die Vermuthung seyn, daſs der Factor der Dichtigkeiten bei manchen Gasarten nicht genau genug gewesen sey, da diese Bestimmung überhaupt schwierig ist und manche derselben durch Auflösung heterogener Körper ihre Dichtigkeit bedeutend ändern. Namentlich ist dieses beim Wasserstoffgas der Fall, welches in allen Versuchen die gröſsten Abweichungen zeigt, dessen Dichtigkeit aber eine geraume Zeit hindurch von den Chemikern sehr verschieden bestimmt wurde. Nach den eben mitgetheilten Resultaten fällt übrigens die oben erwähnte Schwierigkeit rücksichtlich der beiden die atmosphärische Luft bildenden Gasarten weg, indem die Summe der Geschwindigkeiten beider im gehörigen Verhältnisse vereint gerade die der atmosphärischen Luft giebt.

Dülong[1] stellte seine oben §. 46. bereits erwähnten schätzbaren Versuche zunächst in der Absicht an, um das Verhältniſs der specifischen Wärme unter beständigem Drucke zur specifischen Wärme bei gleichbleibendem Volumen oder den oben §. 70. genannten Factor k bei den Gasarten zu finden, welcher allerdings bei ihnen verschieden seyn muſs, wenn wir annehmen, daſs hierauf die Abweichung der theoretischen Geschwindigkeit von der beobachteten beruht, wie Dülong als ausgemacht betrachtet und daher die Ungleichheit der Schallgeschwindigkeit in der Absicht miſst, um jenen Coefficienten hierdurch zu ermitteln. Seine Versuche unterscheiden sich von den bisher erwähnten dadurch, daſs er die mit gleichmäſsiger Geschwindigkeit zuströmenden Gase vorher austrocknete und sonach den Einfluſs der Feuchtigkeit vermied, auch zählte er die in gleichen Zeiten erfolgenden Schwingungen vermittelst der Sirene. Auſserdem ermittelte er die absolute Schallgeschwindigkeit in atmosphärischer Luft aus der Länge der tönenden Pfeife und fand diese für 0° C. Temperatur = 333 Meter[2], was von der oben §. 67. erhaltenen

1 Ann. Ch. et Phys. T. XLI. p. 113.

2 Die Resultate, welche W. Weber aus seinen Versuchen mit Zungenpfeifen rücksichtlich der Schallgeschwindigkeit gefunden hat, enthebe ich mich genauer zu prüfen. S. Poggendorff's Ann. XVII. 193.

nur unmerklich abweicht. Hiernach machen also seine Verſuche ein für ſich beſtehendes vollſtändiges Ganzes aus. Die Reſultate derſelben zeigt die nachfolgende tabellariſche Zuſammenſtellung, zu deren Beurtheilung Folgendes dient. Heiſsen n und n' die Schwingungsmengen, welche die atmoſphäriſche Luft und die zu prüfende Gasart in der nämlichen Pfeife geben[1], ihre Dichtigkeiten 1 und p, die Temperaturen t und t' in Centeſimalgraden und k der bezeichnete Factor, ſo hat man

$$n:n' = \sqrt{(1+0{,}00375\,t)}\,\sqrt{k} : \frac{\sqrt{(1+0{,}00375\,t')}\,\sqrt{k'}}{\sqrt{p}},$$

worin k' allein unbekannt iſt, wenn man annimmt, daſs k aus der Vergleichung der theoretiſchen Schallgeſchwindigkeit mit der aus Beobachtungen entnommenen zu finden ſey.

1 Dieſe Schwingungsmengen oder die Summe der Vibrationen der Töne werden durch die gemeſſenen Tonhöhen unmittelbar gegeben, wie oben bereits bemerkt worden iſt. Dabei kann der durch atmoſphäriſche Luft erzeugte als Einheit gelten. Dulong ſuchte jedoch gröſsere Genauigkeit zu erhalten und beſtimmte die Vibrationsmengen jedes einzelnen Tones vermittelſt der Sirene, wie ich von ihm verſtanden zu haben glaube.

Gasarten	Töne	Vibrat.	Temp	Dichtigk.	Geschwindigk. berechn.	Geschwindigk. beob.	k'
Atm. Luft	$\overline{c}$	500,4	22°	1	279,29	333 M.	1,421
Sauerstoffgas	h +	474,9 475,2 474,5	21	1,1026	266	317,17	1,415 1,417 1,413
Wasserstoffgas	$\overline{\overline{\overline{h}}}$ —	1883,6 1881	17	0,0688	1064,8	1269,5	1,409 1,405
Kohlensäure	g	393,18 392,68	22 20,5	1,524	226,24	261,6	1,337 1,340
Kohlenoxydg.	$\overline{c}$ +	501,3 503,07	15	0,974	283	337,4	1,423 1,433
Oxyd. Stickgas	g	392,7	20,5	1,527	226	261,9	1,343
Oelerzeug. Gas	h —	466,9	16	0,981	281,99	314	1,240

Wäre als ausgemacht zu betrachten, daſs die Schallgeschwindigkeiten in den verschiedenen Gasarten deren Dichtigkeiten umgekehrt proportional anzunehmen sind, ohne Rücksicht auf ihre chemische Beschaffenheit, so scheint es auf den ersten Blick, als ob die in der letzten Columne für k' erhaltenen ungleichen Werthe bloſs aus den verschiedenen Wärmecapacitäten derselben erklärt werden könnten, woraus dann ein sehr gewichtiges Argument für die Zulässigkeit der La Place'schen Hypothese folgen würde. Es stehn dieser jedoch die oben gewürdigten so bedeutenden Argumente entgegen, daſs ich keinen Anstand nehme, gegen die vollgültige Beweiskraft der übrigens sehr mühsamen, trefflich ausgesonnenen und schätzbaren Versuche Dülong's einige Zweifel zu erheben. Zuvörderst ist oben bereits nachgewiesen worden, daſs das von Dülong angewandte Mittel, die absoluten Schwingungsmengen eines Tones vermittelst der Sirene zu zählen, keineswegs zu den sichersten gehört, vielmehr eine bedeutend weite Fehlergrenze gestattet, denn er fand (§. 50.) für ā nur 834 Schwingungen, statt daſs Scheibler für die tiefste Pariser Stimmgabel 853,5, für die höchste aber 881,4 und für die von den besten Künstlern in Paris verfertigten im Mittel 868,7 erhielt.

Die Schwingungsmengen sind aber von dem bedeutendsten Einfluſse auf die geſuchten Werthe von k', wie man daraus erſieht, daſs beim Kohlenoxydgas ein Unterſchied von 1,77 Vibrationen bei einer Mittelzahl von 502,18 den Factor k' von 1,423 auf 1,433, alſo um 0,01 erhöht. Angenommen der Fehler bei der Beſtimmung der ā gebenden Vibrationen lieſse ſich aus dem genau gefundenen Mittel der Pariser Stimmgabeln entnehmen und betrüge demnach 868,7 — 834 = 34,7 Schwingungen, ſo würde nach dem angegebenen Verhältniſse der geringste Werth von k', nämlich der für ölerzeugendes Gas gefundene, auf 1,440 erhöht und alſo vom geringſten zum gröſsten werden. Wer die oben angegebenen Schwierigkeiten genugsam würdigt, die Stimmung eines Tones durch das bloſse Ohr genau zu unterſcheiden, und hinzunimmt, wie ſchwer es iſt, mit der Sirene bis auf einzelne Vibrationen genau zu zählen, wird ſolche Fehler nicht übermäſsig groſs finden, um ſo mehr, wenn der Ton durch eine Labialpfeiſe erzeugt, alſo ſtets etwas ſchwankend und nicht hinlänglich ſcharf iſt. Bei den Tönen der Pfeifen kommt vermuthlich noch die Strömungsgeſchwindigkeit der Gase in Betrachtung, die gröſser oder geringer iſt, wenn ſie durch gleiche Oeffnungen flieſsen, wodurch der Stoſs gegen die in der Röhre enthaltene Luftſäule mehr oder minder energiſch ſeyn und die Tonhöhe hierdurch verändern kann. Dieſemnach möchte ich auf die erhaltenen Reſultate kein ſo hohes Gewicht legen und die Unterſchiede der für k' gefundenen Werthe vielmehr als Beobachtungsfehler betrachten, da ſie mit Rückſicht auf die nachgewieſenen Schwierigkeiten genauer Beſtimmungen an ſich nicht bedeutend ſind, die von verſchiedenen Beobachtern gefundenen Gröſsen auſserordentlich von einander abweichen, der für Kohlenſäure gefundene Werth bei allen übrigen Beobachtern faſt gleich, bloſs bei Dulong ſehr klein iſt und letzterer für ölerzeugendes Gas eine ungleich kleinere Gröſse, als namentlich der mit groſser Genauigkeit experimentirende van Rees gefunden hat, aus ſeinen Verſuchen folgert.

Digitized by Google

C. Fortpflanzung des Schalles durch tropfbare Flüssigkeiten.

88) Tropfbare Flüssigkeiten sind zwar allerdings einer Zusammendrückung fähig[1], allein sie sind so wenig elastisch, daſs sie sich zur Erzeugung des Schalles überall nicht eignen, und wenn von Werkzeugen, die durch Wasser tönen, die Rede ist, wie die *Wasserorgel* des Ctesibius, so sind diese Vorrichtungen, bei denen die durch strömendes Wasser comprimirte Luft in Pfeifen bläst und diese zum Tönen bringt. Man bezweifelte daher anfangs die Leitungsfähigkeit derselben für den Schall, konnte dieses aber mit den Gehörwerkzeugen der Fische und sonstiger Wasserthiere nicht in Einklang bringen, insbesondere da man beobachtet zu haben glaubte, daſs abgerichtete Fische durch den Ton einer Pfeife herbeigelockt werden könnten, was andere daraus herleiten wollten, daſs sie den Lockenden sähen, obgleich der Erfolg sich auch bei Nacht zeigte. Bei den älteren Untersuchungen über die Gehörwerkzeuge der Fische wurde daher stets die Frage über die Fortleitung des Schalles durch Wasser mit abgehandelt, z. B. durch Klein[2], Baker[3] und hauptsächlich durch Nollet[4]. Zugleich berief man sich auf Erfahrungen, wonach Taucher zwar schwach, aber doch deutlich unter Wasser gehört haben wollten[5]. Hawksbee[6], Anderon[7], Musschenbroek[8] und hauptsächlich Nollet[9] stellten viele Versuche hierüber an, ja letzterer tauchte sogar selbst unter Wasser, um sich durch eigene Erfahrung zu überzeugen, konnte aber dem Einwurfe nicht begegnen, daſs der Schall durch den Erdboden und den Pfahl, an welchem er sich unter dem Wasser hielt, fortgeleitet worden sey, widerlegte dagegen ein anderes Argument, nämlich

---

1 Vergl. *Elasticität.* Bd. III. S. 205.

2 Mantissa ichthyol. de sono et auditu piscium. Lips. 1746. 4.

3 Phil. Trans. N. 486. Daraus in Hamb. Mag. Th. V. S. 655.

4 Sur l'ouie des Poissons. Mém. de Par. 1743. p. 9. G. XLIV. 346.

5 Journ. des Savans. 1678. p. 417.

6 Philos. Trans. T. XXVI. p. 371.

7 Ebend. N. 486.

8 Introductio. T. II. §. 2267.

9 Leçons de Phys. T. III. p. 417.

daſs der Schall nicht eigentlich durch das Wasser, sondern durch die darin enthaltene Luft fortgepflanzt werde, vollständig durch die Versuche, die er mit ausgekochtem und vermittelst der Luftpumpe von Luft befreitem Wasser anstellte; überhaupt muſs man gestehn, daſs schon Nollet die Aufgabe genügend beantwortet habe[1]. Keinen Zweifel lassen ferner die Versuche von Monro[2] übrig, welcher als guter Schwimmer selbst untertauchte und dann den Schall einer in beträchtlicher Entfernung in einem Nachen abgeschossenen Pistole deutlich hörte. Die gehaltreichsten und bekanntesten älteren Versuche sind aber die von Perolle[3], welcher eine Taschenuhr nach Verstopfung der Fugen an einem Faden in ein Glas mit tropfbaren Flüssigkeiten gefüllt herabhängen lieſs und sich hierdurch nicht bloſs von der Leitungsfähigkeit des Wassers für den Schall im Allgemeinen überzeugte, sondern auch auf gewisse Weise den Unterschied der Stärke dieser Schallfortpflanzung durch verschiedene Flüssigkeiten ausmittelte, indem er das Ticken der nämlichen Uhr in der Luft auf 8 Fuſs, in Wasser auf 20 F., in Olivenöl auf 16 F., in Terpentinöl auf 14 F. und in Weingeist auf 21 F. Entfernung hörte. Es ist jedoch wohl zu berücksichtigen, daſs hierdurch kein eigentliches Maſs angegeben wird, weil der Schall aus der tropfbaren Flüssigkeit wieder durch die Luft fortgehn muſste, um ins Ohr zu gelangen. Wirklich ist die Fortleitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten ungleich gröſser, als sie diesen Bestimmungen nach zu seyn scheint, wie schon aus B. Franklin's[4] Zeugnisse hervorgeht, daſs er das Zusammenschlagen zweier Steine unter Wasser auf eine gröſsere Entfernung als eine halbe engl. Meile gehört habe. Hiervon kann man sich leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen, wenn man in einem Zimmer die Pendelschläge einer Wanduhr abwechselnd durch die Luft und durch das Wasser in einem Gefäſse hört, worein man das eine Ohr taucht, während das andere verstopft gehalten wird. Durch diesen und durch einige an-

1 G. XLIV. 346.

2 Vergleichung des Baues u. d. Physiol. d. Fische. Aus d. Engl. Leipz. 1787. 4.

3 Mém. de l'Acad. Roy. de Turin. 1790. T. V. p. 195. G. III. 167. Journ. de Phys. T. XLIX. p. 382.

4 Letters by Dr. Franklin. l. XLIV. vom 20. Juli 1762.

Digitized by Google

dere Versuche habe ich mich selbst von der starken Leitungsfähigkeit des Waſsers und der noch gröſsern des Quecksilbers überzeugt[1]. Savart[2] setzte die Fortpflanzungsfähigkeit des Schalles bei tropfbaren Flüſsigkeiten voraus und suchte daher auszumitteln, auf welche eigenthümliche Weise diese Fortleitung geschieht. Dieses bewerkstelligte er dadurch, daſs er feste Körper mit Waſser in Verbindung brachte, so daſs der Schall zuerst dem Gefäſse, dann dem darin enthaltenen Waſser und von diesem wieder dem festen Körper zugeführt wurde, wobei sich ergab, daſs das Waſser auf gleiche Weise und durch eben solche Wellen den Schall leitet, als dieses bei festen Körpern und auch bei der Luft geschieht.

89) Durch alle diese Untersuchungen war zwar die Frage über die Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüſsigkeiten vollständig entschieden worden, auch geht aus denselben überzeugend hervor, daſs sie bedeutend stärker ist, als bei gasförmigen, indem sie vielmehr der durch feste Körper sich mehr nähert, allein über die Geschwindigkeit des Schalles in solchen Medien war nichts ausgemacht, obgleich diese Aufgabe kaum schwerer ist, als die Auffindung der Schallgeschwindigkeit in der atmosphärischen Luft. Die Frage ist indeſs neuerdings auf eine genügende, dem gegenwärtigen Standpuncte der Wiſsenschaften angemeſsene Weise durch Colladon und Sturm beantwortet worden[3]. Sie theilen zugleich die Resultate einer Reihe von Versuchen mit, die Beudant früher angestellt hatte, selbst aber wegen mangelhafter Vorrichtungen für zu wenig genau hielt, um sie bekannt zu machen. Seine Versuche wurden auf dem Meere bei Marseille angestellt, wo zwei Kähne in einer gemeſsenen Entfernung von einander befestigt waren. In dem einen derselben schlug ein Gehülfe an eine unter Waſser befindliche Glocke und gab zugleich ein Zeichen, welches von dem Beobachter im andern Kahne bemerkt wurde, während ein anderer unter dem Waſser die Ankunft des Schalles anzeigte; allein hierbei stand die Schwierigkeit entgegen, diese Anzeige schnell genug zu machen. Als mittleres

1 G. XLVIII. 91.

2 Ann. Chim. et Phys. T. XXXI. p. 288. Bearbeitet durch Weber in Schweigger's Journ. LI. 298.

3 Ann. Chim. Phys. XXXV. 113. G. LXXXVIII. 39.

Digitized by Google

Resultat wurde eine Schallgeschwindigkeit von 1500 Metern in einer Secunde gefunden.

Die oben genannten Gelehrten wählten süſses Wasser zu ihren Versuchen, dessen Zusammendrückbarkeit sie vorher bestimmt hatten. Als Station diente die gröſste Entfernung, die Colladon auf dem Genfersee über allseitig hinlänglich tiefem Wasser zwischen Thonon und Rolle zu erhalten vermochte, und diese betrug zwischen beiden Booten nach genauen Messungen 13487 Meter. In dem einen Boote befand sich der Gehülfe, welcher nach verabredeten Zwischenzeiten vermittelst des Hebels m den Hammer M gegen die etwa 0,7 Meter hohe Glocke schlug, wobei zugleich die Zündruthe l das zum Signale dienende Schieſspulver p im Betrage von 0,25 ℔ berührte. Das Aufblitzen dieses Pulvers und das Anschlagen der Glocke geschah also gleichzeitig und wurde von Colladon im Boote der andern Station beobachtet. Zur Zeitmessung diente ein mit einem leichten Drücker versehenes Chronometer, welches arretirt wurde bis zum Erscheinen des Blitzes, dann bis zur abermaligen Arretirung beim ersten Wahrnehmen des Schalles fortging und auf diese Weise die Zeit bis auf 0,25 Secunde genau maſs. Die Beobachtungen lieſsen sich leicht mit groſser Schärfe anstellen, sowohl die des momentanen Aufblitzens, als auch die des Schalles, welcher keineswegs langdauernd, gleichsam tönend, sondern kurz war und dem Zusammenschlagen zweier Messerklingen glich. Colladon bemerkt, daſs aus der Zwischenzeit zwischen der Wahrnehmung und der Arretirung des Chronometers ein Beobachtungsfehler entstehn muſste, welcher jedoch wegfällt, wenn er bei beiden Beobachtungen als gleich groſs angenommen wird; indeſs ist Colladon geneigt, den ersten für etwas gröſser zu halten, weil die Wahrnehmung des Signals unerwartet kam, die des Schalles aber dann erwartet wurde. Inzwischen ist dieses wohl nicht mit absoluter Gewiſsheit anzunehmen, da es immer fraglich bleibt, ob überhaupt und namentlich bei diesem speciellen Beobachter eine Wahrnehmung durch das Ohr oder durch das Auge schneller wirkt, mit Sicherheit aber darf vorausgesetzt werden, daſs der Unterschied beider Fehler oder der wirklich vorhandene Fehler die angenommene Gröſse von 0,25 Secunde nicht erreicht und daher füglich vernachlässigt werden kann. Da der Schall über dem Wasser nicht wahr-

Fig. 168.

Digitized by Google

nehmbar, das Eintauchen des Ohrs aber beschwerlich war, so wurde eine Art von Hörrohr aus Blech, bestehend aus einer Röhre von Blech, 5 Meter lang, unten mit einer Erweiterung, die durch eine gegen die Schallwellen gerichtete, 20 Quadratcentimeter haltende Platte bedeckt war, ins Wasser gesenkt und deren obere konisch zulaufende und etwas schräg gerichtete Oeffnung gegen das Ohr gehalten. Die groſse, nirgends unterbrochene, fast überall gleichmäſsige Tiefe des Sees, im Mittel von 140 Meter, die Klarheit und Reinheit seines Wassers, welches nach den Analysen von Tingry nur etwa $\frac{1}{6000}$ an festen Bestandtheilen enthält, kam bei diesen Versuchen sehr zu statten. Drei Reihen von Beobachtungen, im Ganzen 44 einzelne, die zwischen 9 und 9,5 Secunden lagen, gaben einen Mittelwerth von etwas mehr als 9,25, und dieser läſst sich also mit Rücksicht auf die oben erwähnte Verzögerung möglichst genähert zu 9,4 Secunden annehmen. Diesemnach beträgt die Schallgeschwindigkeit im Wasser Fig. 169.

$$V = \frac{13487}{9{,}4} = 1435 \text{ Meter in 1 Secunde.}$$

Um zu finden, wie sich diese gefundene Gröſse zu der aus der Theorie folgenden Bestimmung verhält, wird eine Anwendung des Axioms gemacht, welches durch La Place[1] aufgestellt worden ist. Dieser nimmt nämlich sehr sinnreich an, daſs bei den Schallwellen, wenn sie in gasförmigen, tropfbarflüssigen und festen Körpern fortgepflanzt werden, die Bewegungen der Molecülen in Folge der Zusammendrückungen und der mit diesen wechselnden Ausdehnungen einander mitgetheilt werden. Ist dann ein Körper von einer gewissen Länge gegeben, weiſs man, um den wievielsten Theil er durch ein dem seinigen gleiches Gewicht zusammengedrückt werde[2], und nennt man diesen m, so ist der Raum, welchen der Schall während einer Sexagesimalsecunde in demselben durchläuft, $= \frac{\sqrt{2g}}{m}$, den Werth von g nach der gewöhnlichen Bezeichnung dem Fallraume in der nämlichen Zeit gleichgesetzt. Wird hierin nach Canton's Versuchen die Zusammendrückbarkeit des Wassers = 0,0000425 gesetzt, so findet La Place die

1 Ann. Chim. Phys. T. III. p. 164.
2 Vergl. *Modulus der Elasticität*. Bd. III. S. 210.

Digitized by Google

Schallgeschwindigkeit für Fluſswasser = 1525,8 und für Seewasser = 1620,9 Meter. Colladon und Sturm haben die Elemente ihrer Berechnung sehr scharf bestimmt. Sie finden das specifische Gewicht dieses Wassers bei 4° C., also im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit, gegen destillirtes = 1,00015, weil aber das Volumen des Wassers bei 8° C. als der Temperatur, wobei die Beobachtungen gemacht wurden, sich um 0,00013 vergröſsert, so kann sein spec. Gewicht bei dieser Temperatur unbedenklich = 1 gesetzt werden. Die Zusammendrückbarkeit dieses Wassers konnte zwar füglich der des destillirten gleich gesetzt werden, sie wurde jedoch eigends vermittelst des *Piezometers* gemessen und für 8° C. Temperatur der des reinen Wassers bei 0° C. gleich, nämlich 49,5 Milliontel gefunden. Sie benutzten dann ferner die von Poisson[1] gefundene Formel, wonach die Schallgeschwindigkeit

$$V = \sqrt{\frac{Pk}{D\varepsilon}}$$

ist. Hierin bezeichnet D die Dichtigkeit, k die Länge einer Säule unter einem bekannten Drucke, ε die kleine Verkürzung dieser Säule für einen gegebenen Zuwachs im Drucke P. Demnach ist für das zu untersuchende Wasser k = 1000000, $\varepsilon = 49{,}5$, und wenn für P der Druck einer Atmosphäre von 0,76 Meter Quecksilberhöhe bei 10° Temperatur genommen wird, bei welcher das Manometer bestimmt wurde, γ die Dichtigkeit des Quecksilbers und g den Fallraum in einer Secunde bezeichnet, so ist $P = 0{,}76 \times 2g \cdot \gamma$. Nimmt man ferner das spec. Gewicht des Quecksilbers bei 0° C. gegen Wasser im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit = 13,568 und die Volumensvermehrung desselben für 1° C. = 0,00018, so wird

$$\gamma = \frac{13{,}568}{1{,}0018} = 13{,}544 \text{ und also } P = (0^{m}{,}76)(9{,}8088)(13{,}544).$$

Diese Werthe in die Formel substituirt geben die theoretische Schallgeschwindigkeit für süſses Wasser V = 1428 Meter = 4396,02 par. Fuſs, welches von der durch die Versuche erhaltenen = 1435 Meter oder 4417,57 par. Fuſs um nicht mehr abweicht, als die Fehlergrenze beträgt, wonach eine Correction wegen ausgeschiedener Wärme unnöthig scheint,

1 Mém. de l'Institut pour 1819. p. 396.

Digitized by Google

was mit dem Resultate der Versuche übereinstimmt, wonach ebendiese Gelehrten gefunden haben, daſs durch Compression der tropfbaren Flüssigkeiten keine Wärme entbunden wird[1].

90) Die genannten Beobachter haben bei diesen Versuchen einige Eigenthümlichkeiten des Schalles im Wasser wahrgenommen, die noch eine Erwähnung verdienen. Zuerst ist kein klingender Ton wahrnehmbar, wie beim Fortgange durch die Luft (indem der Schall einer aus beträchtlicher Ferne gehörten Glocke in ein anhaltendes Klingen übergeht), sondern ein kurzer Stoſs. Es ist dieses eine Folge der geringen Elasticität des Wassers, welches durch die mitgetheilten Pulsus nicht, wie die sehr elastische Luft, in eigene Schwingungen übergeht. Nach der Theorie ist bei den Schwingungen einer Flüssigkeit die Dauer der Bewegung eines Theilchens gleich dem Radius des Kugelstückes, welches man als ursprünglich erschüttert annimmt, dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, wovon die erstere kleiner, die letztere aber

---

1 Diese Formel auf atmosphärische Luft angewandt führt zu dem nämlichen Resultate, welches oben §. 73. gefunden worden ist. Hierfür ist dann $\frac{P}{D} = (0^{m},76)\ (9{,}8088)\ (10466{,}8)$ mit dem geringfügigen Unterschiede, daſs oben der mittelste Factor genauer $= 9{,}8058$ angenommen wurde. Daſs zu dieser Gröſse ein Factor für die Zusammendrückung hinzukommen müsse oder daſs dieselbe durch $\frac{k}{\varepsilon}$ zu dividiren sey, mithin daſs nicht der Unterschied des aus $\sqrt{\frac{P}{D}}$ hervorgehenden Resultates von der durch die Erfahrung gefundenen Schallgeschwindigkeit bloſs als Folge der ausgeschiedenen Wärme betrachtet werden könne, geht aus der Formel selbst mit Evidenz hervor. Wird aber mit Rücksicht auf das Mariotte'sche Gesetz der Factor $\frac{k}{\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ angenommen, so folgt hieraus

$$\log.\ \frac{P}{D} = 4{,}8922435$$
$$\log.\ \frac{k}{\varepsilon} = 0{,}1505150$$
$$\overline{5{,}0427585}$$
$$:2$$
$$\overline{\log.\ V = 2{,}5213792,}$$

welches 332,18 Meter mit der Erfahrung übereinstimmend giebt.

Digitized by Google

gröſser bei Waſser ist, als bei der Luft, wonach also die Dauer nothwendig kleiner seyn muſs.

Eine zweite Bemerkung ist, daſs die Schallwellen nicht aus dem Wasser in die Luft übergehn, wenn die im Wasser fortgehenden Wellen die Oberfläche unter einem sehr spitzen Winkel treffen; denn in einem gröſsern Abstande als 200 Meter von der Glocke hörte man den Ton derselben mit bedeutender Abnahme schwächer und in 400 bis 500 Meter Entfernung vernahm auch das dicht über das Wasser gehaltene Ohr gar nichts mehr. Ebenso wurde der Schall bedeutend geschwächt, wenn bei einer absichtlich deswegen angestellten Versuchsreihe eine über die Oberfläche des Wassers hervorragende Mauer die gerade Richtung der Schallwellen unterbrach. Colladon und Sturm finden in beiden Erscheinungen eine Aehnlichkeit mit dem Verhalten des Lichts, dessen Wellen an den Oberflächen der Körper modificirt werden. Obgleich die Phänomene des Lichts und des Schalles auch übrigens groſse Uebereinstimmung zeigen, die sehr natürlich auf die hier gegebene Erklärung führt, so folgt doch auch auſserdem die letzte Erscheinung aus der Schwierigkeit des Ueberganges der Schallwellen in verschiedene Körper, die später §. 96. erörtert werden soll, die erste aber auch daraus, daſs nur in der Nähe die nicht weit ausgedehnten Bebungen des Wassers und des Apparats, woran die Glocke hing, die umgebende Luft in keine andere als schwache Vibrationen versetzen konnten, deren Wirkung auf das Ohr sich nicht weit erstreckt. Sehr interessant ist endlich die Bemerkung, daſs die Wellen, wodurch das Wasser mechanisch bewegt wird, auf die Fortpflanzung des Schalles keinen Einfluſs haben; denn am letzten Tage war der See so unruhig, daſs die Boote kaum festzuhalten waren, und dennoch war die Stärke und Geschwindigkeit der Schallfortpflanzung unverändert. Hier findet also etwas Aehnliches, als bei der Luft statt.

91) Eine Anwendung auf die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sonstiger Flüssigkeiten läſst sich aus diesen Betrachtungen leicht entnehmen, indem dieselbe theoretisch vermittelst der angegebenen Formel bestimmt werden kann, Versuche hierüber, auſser mit Seewasser, dürften aber wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten auſser dem Bereiche der Möglichkeit liegen. Dem analytischen Ausdrucke zufolge ist die Geschwin-

Digitized by Google

digkeit der Quadratwurzel aus der Dichtigkeit umgekehrt proportional. Ganz anders verhält es sich mit der Stärke der Fortpflanzung, die nach v. Arnim[1] den Versuchen von Perolle gemäſs den Dichtigkeiten im einfachen Verhältniſse nahe genau direct proportional seyn soll; allein zu einer scharfen Bestimmung sind jene Versuche nicht genügend. Wenn man aber dasjenige berücksichtigt, was oben §. 88. über die starke Leitungsfähigkeit der tropfbaren Flüssigkeiten für den Schall gesagt worden ist, namentlich das Zeugniſs von B. Franklin, wobei jedoch wohl zu berücksichtigen ist, daſs für eine ungestörte Fortpflanzung der Schall in den Flüssigkeiten erzeugt werden und durch dieselben unmittelbar zum Ohre gelangen muſs, wenn die Stärke ihrer Leitungsfähigkeit geprüft werden soll, so ergiebt sich hieraus leicht, daſs Versuche dieser Art mit allzugroſsen Schwierigkeiten verbunden sind, als daſs sich eine genügende Lösung der Aufgabe so leicht erwarten lieſse.

D. Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper.

92) Daſs der Schall durch feste Körper fortgepflanzt werde, und zwar ungleich stärker und schneller als durch die Luft, wuſste man seit langer Zeit, und es geht dieses auch schon daraus hervor, daſs man einen Wecker unter einer Campane und den auswärts erregten Schall im überall verschlossenen Zimmer hört. Selbst diejenigen Schallwellen, die zu schwach sind, um durch die Luft geleitet das Ohr zu afficiren, werden hörbar, wenn feste Körper, insbesondere Stangen, Drähte oder auch nur straff angespannte Fäden zur Fortpflanzung dienen. Dieses wird durch die interessanten Versuche anschaulich, wenn man Glasröhren, silberne Löffel oder sonstige elastische Stäbe und Scheiben an einem oder zwei Fäden aufhängt und die Enden derselben nach dem Anschlagen der tönenden Körper mit den Fingern in den Gehörgang bringt, in welchem Falle man Töne wie von einer fernen sehr groſsen Glocke wahrnimmt[2]. Auf gleiche Weise läſst sich die ausge-

1 G. IV. 113.

2 Hexhold hat in Verbindung mit Rafn Versuche dieser Art im Groſsen angestellt, indem sie einen Faden auf 300 Ellen lang an-

zeichnete Leitungsfähigkeit fester Körper an einem beliebig langen, über eine bis zwei Linien dicken Metalldrahte anschaulich machen, wenn man das eine Ende desselben mit etwas Zwirn oder Baumwolle umwickelt in den Gehörgang bringt und das andere mit einem Stecknadelknopfe kaum berührt, wobei aber dennoch jeder Stoſs deutlich vernommen wird. Auf der leichten Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper beruht das bereits erwähnte[1] Hören durch andere Theile des Kopfes, wenn man diese vermittelst stark leitender Körper mit den tönenden in Verbindung setzt, und überhaupt reden schon Kircher[2], Boerhave[3], Peter Kamper[4] und andere von dieser Sache als einer allgemein bekannten, wofür sie auch noch jetzt gilt, weswegen es keiner eigentlichen Beweise und keiner speciell namhaft zu machenden Autoritäten bedarf.

93) Eine ungleich stärkere Fähigkeit der Schallfortpflanzung der festen Körper, als der tropfbaren Flüssigkeiten und noch mehr als der Gasarten, zeigen selbst die rohesten Beobachtungen, aber das Verhältniſs der Stärke unter jenen und gegen die letztern ist noch kaum mit nur irgend einer Genauigkeit untersucht worden. Nach den wenigen hierüber vorhandenen Versuchen hängt diese theils von der Form theils von der Natur der leitenden Substanzen ab. Im Allgemeinen leiten lange, insbesondere fadenförmige Körper besser als groſse Massen und etwas dickere Drähte stärker als sehr dünne[5]. Die ersten genaueren Versuche zur Bestimmung der Leitungsfähigkeit fester Körper machte Perolle[6] und fand die Hölzer am stärksten den Schall leitend, weniger Metalldrähte und noch weniger Schnüre und Fäden. Die nach den Längenfibern geschnittenen Hölzer leiteten in folgender Ordnung: Tan-

---

spannten, einen silbernen Löffel an das eine Ende hingen und das andere zum Ohre führten oder zwischen die Zähne faſsten. S. Reil's Archiv für Phys. Th. III. Hft. 2.

1 S. *Gehör*. Bd. IV. S. 1212.

2 Musurgia. L. I. sect. VII. cap. 7.

3 Praelect. in Institut. Rei medicae. T. IV. p. 414.

4 Kleine Schriften. Bd. I. Hft. 2.

5 Nach meinen Versuchen. G. XLVIII. 100.

6 Mém. de l'Acad. de Turin. 1791 u. 92. T. V. p. 195. Daraus in Voigt's Mag. T. X. St. 2. p. 39. G. III. 168.

Digitized by Google

ne, Campeche, Buxbaum, Eiche, Kirschbaum, Kastanie; die Metalle: Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Zinn, Blei; Fäden und Schnüre: Darm, Haare, Seide, Hanf, Leinen, Wolle, Baumwolle. Er untersuchte auch Zink, Antimon, Glas, Salz, Gyps, getrockneten Thon und Marmor, unter denen letzterer am schlechtesten leitete. Chladni[1] fand nach seinen Versuchen die Leitungsfähigkeit durch gläserne Röhren und demnächst durch Stäbe von Tannenholz am stärksten.

Baco[2] hielt noch die Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper für so unmöglich, daſs er annahm, es befinde sich ein eigener Aether in denselben, der diese Wirkung hervorbringe, Cartesius[3] dagegen setzte die Ursache in den stärkern Zusammenhang der Theile. Dr. Hooke[4] machte die ersten Versuche mit einem sehr langen gespannten Drahte und fand die Leitung des Schalles durch denselben weit schneller als durch die Luft. Von Arnim[5] glaubt, die Stärke der Schallfortpflanzung durch feste Körper sey ihrer Cohärenz proportional, wofür er die Bestätigung in Perolle's Versuchen findet. Dagegen meint Chladni[6], die Rigidität komme hierbei weit mehr in Betrachtung, als die Tenacität, indem er unter der ersteren die Kraft versteht, womit ein Körper der Gestaltveränderung Widerstand leistet, unter letzterer diejenige, die eine Trennung der Theile hindert. Glas sey diesemnach ein vorzüglicher Leiter des Schalles, wobei jedoch auch die Gestalt sehr in Betrachtung komme, indem ein langer Stab einen entschiedenen Vorzug vor einer dicken Masse habe.

94) Die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern suchte Wünsch[7] aufzufinden, indem er tannene Latten, 36 Stück jede von 24 Fuſs, als ein horizontales, rechtwinkliges Dreieck vermittelst Zapfen zusammenfügte, am einen Ende das Ohr hielt, am andern mit einem Hammer anschlagen lieſs

1 Akustik. S. 267.
2 Sylva sylvarum. Phon. §. 2. 3.
3 Epist. T. II. ep. 72.
4 Micrographia restaur. Lond. 1665. Praef.
5 G. IV. 112.
6 Akustik. S. 268.
7 Deutsche Abhandl. der Kön. Acad. d. Wissensch. von 1788 u. 89. Berlin. 1793.

Digitized by Google

und dann den Schall durch diese Leiter ohne Zeitverluſt, durch die Luft in der Richtung der Hypotenuse aber nach einer halben Secunde hörte, woraus er ſchlieſst, der Schall bewege ſich durch feste Körper instantan; was jedoch gegen die Grundprincipien der Mechanik ſtreitet. Hassenfratz[1], mit Zuziehung des damals noch ſehr jungen Gay-Lussac, lieſs in den Steinbrüchen bei Paris einen Gehülfen mit einem Hammer gegen eine Steinmasse ſchlagen, die eine lange Wand bildete; auch benutzte er eine hölzerne 210 Fuſs lange Barrière zu gleichem Zwecke, gelangte aber zu keiner eigentlichen Beſtimmung der Geschwindigkeit, ſondern bloſs zu dem Reſultate, daſs ſie in feſten Körpern gröſser ſey, als in der Luft, und daſs die Höhe und Tiefe der Töne keinen Unterschied bewirke, wohl aber die Beschaffenheit derselben. Bei weitem die bedeutendſten Verſuche ſind die von Biot bereits §. 83. erwähnten, zugleich mit der Unterſuchung der Fortpflanzung des Schalles durch die in Röhren eingeschlossene Luft verbundenen. Sie wurden ſo angeſtellt, daſs zwei Beobachter ſich an die äuſserſten Enden der 951,25 Meter (2928,33 Fuſs) langen Röhrenstrecke ſtellten und zu verabredeten Zeiten mit einem Hammer dagegen ſchlugen, wonach alſo jeder von ihnen die Zeit meſſen konnte, die der Schall zum Durchlaufen dieſer Strecke bedurfte, und auſserdem wurden durch dieſes Mittel die Fehler im Gange der Uhren von ſelbſt aufgehoben. Der eine Beobachter Martin ſchlug nämlich gegen das Röhrenende, wenn ſein Chronometer 0″ und 30″ zeigte, Biot dagegen bei 15″ und 45″, und dieſe Zeit läſst ſich mit etwas Uebung leicht genau einhalten. Die Unrichtigkeiten und ſelbst der ungleiche Gang beider Uhren fällt dann von ſelbst weg, wenn er weniger als 30 Secunden beträgt. Es gehe die eine Uhr um r Secunden vor und p ſey die Zeit der Schallfortpflanzung, ſo wird der bei 0 Secunden gethane Schlag bei p — r Secunden gehört; ſchlägt dieſer zweite Beobachter bei 30 Secunden, ſo zeigt die Uhr des erſten 30 + r Secunden und er hört den Schall bei 30 + r + p Secunden. Beide Beobachtungen geben alſo die Zeit p — r und p + r, wodurch der Fehler aufgehoben wird. Zwei Reihen von zuſammen 19 Beobachtungen

1 Mém. de l'Inst. Sav. Etrang. T. II. p. 109. Ann. Chim. T. LIII. p. 64. G. XXI. 437.

gaben 2 p = 0,52 Secunden, also p = 0,26 Secunden, und da die Fortpflanzung durch die Luft in den Röhren 2,5 Secunden mehr betrug, also im Ganzen 2,76 Secunden, nach der Theorie aber 2,79 Secunden betragen muſste, so verdienen die Versuche hiernach Vertrauen und geben die Schallgeschwindigkeit durch die guſseisernen Röhren 10,5 mal so schnell, als durch die Luft. Benzenberg[1] bemerkt jedoch mit Recht, daſs diese Zeit überhaupt zu kurz war, um nicht eine bedeutend groſse Fehlergrenze zu gestatten, und daher stimmen auch die Gröſsen, die mit Theilen dieser Strecke und mit der ganzen erhalten wurden, keineswegs so genau überein, daſs man dem Resultate vollkommenes Zutrauen schenken könnte. Es ergiebt sich also hieraus, daſs diese Entfernung noch zu kurz war, um die Schallfortpflanzung, selbst mit Anwendung von Tertienuhren, genau zu messen.

Clement und Desormes[2] maſsen beiläufig bei Gelegenheit ihrer pneumatischen Versuche die Schallgeschwindigkeit in guſseisernen Röhren und fanden sie eine Secunde für 593 Meter, also ungleich geringer als Biot, was wohl unmöglich richtig seyn kann und von ihnen daraus erklärt wird, daſs sich zwischen den einzelnen zusammengeschraubten Röhren Lederscheiben befanden. Die ganze Angabe ist ohne Werth, da nach ihr die Schallgeschwindigkeit in solchen Röhren geringer wäre als im Wasser. Es ergiebt sich aus allen bisherigen Versuchen hauptsächlich nur die stärkere Fortpflanzungsgeschwindigkeit in festen Körpern und zugleich die groſse Schwierigkeit, diese durch Versuche genau auszumitteln.

95) Bei der theoretischen Untersuchung der Schallfortpflanzung durch feste Körper kommt zuerst die Frage in Betrachtung, ob diese durch transversale oder longitudinale Schwingungen geschieht. Mit Gewiſsheit läſst sich zwar hierüber nicht entscheiden, da die mitgetheilten Wellen zu schwach sind, als daſs man sie durch Figuren sichtbar darstellen und hiernach die aufgestellte Frage beantworten könnte, allein nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen muſs man sie für longitudinale Schwingungen halten. Dieses vorausgesetzt

1 G. XXXVII. 221.
2 Bulletin de la Soc. Philom. 1811. G. XXXIX. 142.

Digitized by Google

hat Chladni[1] ein durch innere Wahrscheinlichkeit sich sehr empfehlendes Theorem aufgestellt, um die Geschwindigkeit der Fortpflanzung des Schalles durch die verschiedenen festen Körper zu bestimmen, welches die Gebrüder Weber[2] bei ihren Versuchen an gespannten Seilen so genau mit der Erfahrung übereinstimmend gefunden haben, als innerhalb der Fehlergrenze möglich war. Indem nämlich der Schall in der nämlichen Zeit eine Strecke von Luft durchläuft, in welcher eine gleich lange Säule eine Longitudinalschwingung macht, so läſst sich annehmen, daſs bei festen Körpern dieses nämliche Gesetz statt findet. Wenn also eine an beiden Seiten offene Pfeife von n Fuſs Länge den nämlichen Ton giebt, als ein Stab von m Fuſs Länge, so werden sich die Geschwindigkeiten beider verhalten wie n zu m, oder wenn die Längen der Luftsäule und des tönenden Stabes gleich sind, so werden die Geschwindigkeiten den Tonhöhen proportional seyn. Hiernach hat er aufgefunden, daſs Zinn 7,5, Silber 9, Kupfer beinahe 12, Eisen und Glas 17, die verschiedenen Hölzer zwischen 11 bis 17, gebrannter Thon 10 bis 12 mal so geschwind leiten, als die Luft[3]. Daſs diese Bestimmung für das Eisen mit dem Resultate der Versuche Biot's nicht übereinstimmt, erklärt Chladni[4] aus dem Umstande, daſs die ganze Strecke bei jenen Versuchen aus einzelnen verbundenen Röhren mit zwischenliegenden heterogenen Metallstücken und sonstigen Substanzen bestand.

Daſs nach der oben §. 89. angegebenen Formel die Schallgeschwindigkeit in festen Körpern gleichfalls und vermuthlich mit groſser Genauigkeit gefunden werde, unterliegt wohl keinem Zweifel. La Place hat dieselbe in ihrer einfachsten Gestalt dazu angewandt, und da de Borda gefunden hat, daſs Messing (*cuivre jaune*) von einem Meter Länge durch ein dem seinigen gleiches Gewicht um 0,00000077379 Meter zusammengedrückt werde, so giebt dieses = m in der Formel $V = \sqrt{\frac{2g}{m}}$ substituirt und für $2g = 9^m,8088$ gesetzt die Schallgeschwindigkeit in dieser Substanz = 3560,4 Meter,

1 Voigt's Magazin Th. I. St. 1. S. 7. Akustik S. 265.

2 S. Wellenlehre S. 467.

3 Ausführlicher ist dieser Gegenstand bereits oben §. 18. untersucht worden.

4 Neue Beiträge u. s. w. S. 85.

Digitized by Google

welches von dem durch Chladni nach seiner Methode gefundenen Werthe = 3596,58 Meter nicht bedeutend abweicht, weswegen La Place den Unterschied als Folge der durch Compression freigewordenen Wärme betrachtet; indeſs ist der Unterschied so gering, daſs er füglich als Beobachtungsfehler betrachtet werden kann, um so mehr, als ein aus der Correction für ausgeschiedene Wärme entnommener Factor ein viel zu groſses Resultat geben würde. Ungleich genauere Resultate würde man erhalten, wenn man sich zur Berechnung der theoretischen Schallgeschwindigkeit der Formel von Poisson §. 89. bediente, jedoch dürſte nicht leicht die Gelegenheit dargeboten werden, diese mit dem Ergebniſs der Erfahrung zu vergleichen.

Unter den Anwendungen, die man von der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gemacht hat, erwähne ich eine Spielerei von Wheatstone[1], die unter geeigneten Umständen interessant werden kann. Wenn man einen im Resonanzboden eines Forte - Piano oder eines sonstigen musikalischen Instrumentes befestigten Metallstab bis zum zweiten oder dritten Stockwerke hinaufführt und dort mit einem andern musikalischen Instrumente fest verbindet, oder wenn man ihn auf gleiche Weise herabführt und eine Harfe, Guitarre u. s. w. daran hängt, so hört man an letzterem Instrumente die Töne, die auf dem ersten hervorgebracht worden sind. Es läſst sich durch dieses Mittel auch den Schwerhörigen eine Unterstützung verschaffen, wenn man in ein hohles Gefäſs, hauptsächlich einen kupfernen Kessel, redet und einen auf dem Rande desselben ruhenden Stab zum Ohre oder zwischen die Zähne führt; auch wird das Hören ungemein verstärkt, wenn man mit dem einen Ende eines Stabes den Resonanzboden eines Instrumentes berührt, dessen anderes man zwischen den Zähnen faſst. Inzwischen scheinen diese Anwendungen seltener zu seyn, als sich nach älteren Nachrichten schlieſsen läſst, die in den §. 92. erwähnten Schriften mitgetheilt werden.

Bei weitem die bedeutendste Anwendung der Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper gewährt das durch Laennec vorgeschlagene *Stethoskop*[2]. Dasselbe besteht aus

---

1 The Journal of the Royal Institut. N. V. p. 223. Wiener Zeitschr. X. 469.

2 De l'Auscultation médiate cet. Par. R. T. Laennec. Par. 1819.

Digitized by Google

einem ungefähr 1 Fuſs langen und 1,25 Zoll dicken Cylinder von hartem Holze, am einen Ende flach, am andern meistens etwas ausgehöhlt[1], einige haben am oberen Ende noch eine in den Cylinder versenkte messingne Röhre von 3 bis 4 Zoll Länge und etwa 5 Linien Weite, die ausgezogen, nach oben gerichtet und mit dem Ohre in Verbindung gesetzt wird[2]. Die Wirksamkeit dieses Apparates beruht bloſs auf der angegebenen so ausgezeichnet viel stärkeren Fortpflanzung des Schalles durch feste Körper, und es dient daher zu dem Zwecke, um mit dem einen Ende äuſserlich auf den kranken Theil des Körpers gehalten am andern dem Ohre des Arztes die Anwesenheit innerer Höhlungen kenntlich zu machen, in denen der Schall nach der bereits erwähnten Wirkung solcher Räume eine eigenthümliche Beschaffenheit erhält. Wegen der in das Gebiet der praktischen Arzneikunde gehörigen Anwendung desselben verweise ich auf die wichtigsten der zahlreichen hierüber erschienenen Werke[3]. Aehnlich in seiner Wirkung, zu gleichen Zwecken anwendbar, jedoch künstlicher und minder bequem und daher nicht gleich sicher in den erhaltenen Resultaten, ist das Mikrophon, ein durch Wheatstone[4] vorgeschlagenes Instrument, welches verschwindend schwache Töne hörbar machen soll. Es besteht aus einem für das Ohr passenden und gegen die harten Theile des Kopfes gestemmten Becken von Messing, auf dessen Mitte ein langer

---

2. Voll. 8. T. I. p. 8. Vergl. J. L. Casper Charakteristik der franz. Medicin. Leipz. 1822. p. 230.

1 Es würde nicht bloſs genügen, sondern noch zweckmäſsiger seyn, beide Enden zur Vermeidung der scharfen Kanten etwas abzurunden.

2 Nachricht von einem biegsamen Stethoskope findet man in Froriep's Notizen Bd. XXVI. S. 206.

3 An Introduction to the Use of Stethoscope cet. By W. Stocker. Edinb. 1825. 8. Observations on M. Laennec's Method of forming a Diagnosis of the diseases of the Chest by means of the Stethoscope and of Percussion cet. By Ch. Scudamore. Lond. 1826. De la Percussion médiate cet. par P. A. Piorry. Par. 1828. 8. Original Cases with dissections and observations illustrating the Use of the Stethoscope and Percussion cet. By John Forbes. Lond. 1824. 8. Dissertatio inauguralis medica de Stethoscopii in morbis pectoris usu. Auct. H. C. Vanhall. Utr. 1823. und viele andere.

4 Berzelius Jahresbericht VIII. p. 9.

Digitized by Google

Metallſtab befestigt ist, um durch diesen die Töne dem Ohre zuzuführen. Hat man solche an beiden Ohren, so lassen sich die zwei Drähte in einen vereinigen.

96) Als Anhang zu den bisherigen Untersuchungen über die Fortpflanzung des Schalles im Allgemeinen muſs noch die Bemerkung hinzugefügt werden, daſs die ſortleitenden Schallwellen wohl ohne Ausnahme eine bedeutende Schwächung erleiden, sobald sie aus einem gewissen gegebenen Mittel in ein anderes übergehn, wobei jedoch derjenige Körper gleichfalls und wohl vorzugsweise zu berücksichtigen ist, welcher unmittelbar mit dem Ohre in Verbindung steht. Viele Erscheinungen ergeben sich als Folge dieses allgemeinen Gesetzes. So wird man das Ticken einer Taschenuhr bis zu einer Entfernung von etwa zwei Fuſs leicht deutlich hören, wenn der Schall bloſs durch die Luft fortgepflanzt wird, das Hören desselben verschwindet aber gänzlich, sobald man die Uhr mit mehreren Lagen eines seidenen, leinenen oder baumwollenen Tuches umwickelt, ungeachtet alle diese Substanzen den Schall stärker leiten, als die Luft. Ein Wecker verliert an Stärke des Schalles, wenn man ihn unter eine Campane stellt, noch mehr, wenn man über diese eine zweite stürzt, und noch ungleich mehr, wenn man weiche Körper dazwischen bringt, ein Mittel, dessen sich Musschenbroek[1] bediente, um den Schall ganz verschwinden zu machen. Man hört das Schlagen gegen eine Taucherglocke aus einer Tiefe von 30 F. oben sehr deutlich, aber die Taucher vernehmen nichts von einem über dem Wasser erzeugten Schalle[2], weil derselbe von der Luft ins Wasser und aus diesem wieder in die Luft übergehn muſs, was allgemein nur unvollkommen geschieht. Colladon konnte daher (§. 89.) den Schall der angeschlagenen Glocke nicht wahrnehmen, wenn er eine an beiden Enden offene Röhre ins Wasser senkte und das Ohr an das obere Ende hielt, weswegen er die beschriebene Maschine zur Wahrnehmung des Schalles benutzte. Indeſs scheint mir dabei die gröſsere den Schallwellen entgegengehaltene Fläche weit weniger von Bedeutung gewesen zu seyn, als vielmehr die eingeschlossene Luftmasse in dem weiteren unteren Theile

1 Introduct. T. II. §. 2256.
2 Biblioth. univers. T. XIII. p. 230.

Digitized by Google

des Rohres, wodurch der Schall bedeutend verstärkt wird, wie die §. 83. erwähnte Construction der unsichtbaren Frau deutlich zeigt. Daſs jedoch auch derjenige Körper von Einfluſs sey, welcher mit dem Ohre in unmittelbarer Berührung ist, davon kann man sich überzeugen, wenn man das Ohr unter Wasser taucht und dann den Schall aus der Umgebung weit deutlicher wahrnimmt, als durch die Luft.

Endlich verdient noch eine Eigenthümlichkeit hier erwähnt und in theoretischer Hinsicht sehr beachtet zu werden, nämlich daſs die verschiedensten Schallwellen in allen Arten von Körpern neben einander gehn können, ohne sich wechselseitig zu stören, ein Gesetz, welches wir auch bei den Lichtwellen aus den Beobachtungen entnehmen, ja selbst auch die elektrischen sogenannten Strömungen durchkreuzen einander ohne gegenseitige Zerstörung, wonach man diese Bewegungen gleichfalls für wellenartig halten könnte. Nicht bloſs durch die Luft verbreiten sich die vielfachsten, den verschiedensten Tönen zugehörigen Schallwellen, wovon die zahlreichsten Erscheinungen den überzeugendsten Beweis geben, sondern auch feste Körper führen dem Ohre gleichzeitig eine unbestimmbare Menge ungleicher Töne zu.

III. Wahrnehmung des Schalles.

97) Die hierher gehörigen Thatsachen sind im Artikel *Gehör* bereits für den vorliegenden Zweck genügend erörtert worden. Inzwischen muſste dort die Darstellung der Functionen des Ohres insofern mangelhaft bleiben, als diese bloſs durch die Kenntniſs der Schallwellen die erforderliche Klarheit erhalten. Aus den bisherigen Untersuchungen ergiebt sich aber, daſs die Thätigkeit der Gehörnerven auf den Eindrücken beruht, welche die bis zum Ohre fortgepflanzten, durch das Paukenfell und die Gehörknöchelchen geleiteten Schallwellen in ihnen erzeugen. Diese wellenartigen Pulsus schlagen oder stoſsen also auf ähnliche Weise gegen die Nerven des Ohrs unmittelbar oder, wenn man lieber will, mittelbar durch das sie umgebende Wasser. Die unter den Physiologen streitige Frage, ob der Schall gewöhnlich durch die Gehörknöchelchen oder durch die Luft der Trommelhöhle fortgepflanzt werde,

Digitized by Google

beantwortet Savart[1] auf gleiche Weiſe, als durch mich geſchehn iſt. Nachdem er wahrgenommen hatte, daſs geſpannte Membranen durch die Schallwellen eines genäherten ſchallenden Körpers in Schwingung verſetzt werden (§. 43), legte er das Paukenfell bloſs, lieſs es ſo weit austrocknen, daſs er es mit Sand beſtreuen konnte, und erkannte dann aus der hüpfenden Bewegung des letzteren, daſs dieſe Membrane durch den Schall gleichfalls in Schwingungen verſetzt wird[2], die ſie dann den mit ihr verbundenen Knöchelchen mittheilt und auf dieſe Weiſe bis zu den Gehörnerven fortpflanzt. Wurde das Paukenfell durch die Muskeln ſtärker geſpannt, ſo waren ſeine Bewegungen ſchwieriger, und hierin ſcheint alſo ein Mittel gegeben zu ſeyn, das Ohr für einen ſtärkern Schall vorzubereiten, um weniger dadurch afficirt zu werden. Auch die Ohrmuſchel ſoll nach Savart in Schwingungen verſetzt werden und dadurch den Schall verſtärken, was auf jeden Fall durch die in ihren hohlen Räumen eingeſchloſſene Luft bewirkt wird, auſserdem aber bietet ſie den ankommenden Schallwellen, wie deren Richtung auch ſeyn mag, ſtets eine geeignete Fläche dar, die dieſelben gegen das Paukenfell wirft, um die Intenſität des Schalles von der Neigung der gegen das Ohr ankommenden Wellen unabhängig zu machen. Hiernach iſt alſo der Hammer beſtimmt, zuerſt durch ungleiche Spannung des Trommelfelles dieſes gegen zu ſtarke Wirkungen der Schallwellen zu ſichern, und demnächſt die dem Paukenfelle mitgetheilten Vibrationen bis zum ovalen Fenſter fortzuleiten. Dieſe Anſicht iſt ſinnreich und hat einen hohen Grad von Wahrſcheinlichkeit, inſofern viele zu empfinden glauben, daſs das Ohr willkürlich auf einen ſchwachen und ſtarken Schall vorbereitet werden kann, für ganz gewiſs läſst ſich jedoch die Sache nicht anſehn, da man nicht mit Sicherheit von dem ſtärkeren Hüpfen des Sandes auf eine gröſsere Intenſität der Bebungen ſchlieſsen kann, indem bloſs eine weitere Ausdehnung (ich möchte es *amplitudo* nennen) der Bebungen das ſtärkere Hüpfen des Sandes bedingen könnte. Ein Trommelfell z. B. hat ſtärkere Ausweichungen beim Tönen, als das Gong-Gong, aber die Intenſität der Schallwellen iſt bei

1 Ann. Chim. Phys. T. XXVI. p. 5. ff.

2 Vgl. Saggio di Padova T. I. p. 419.

letzterem gewiſs gröſser als bei ersterem. Im Ganzen hat aber die Ansicht Savart's einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit für sich. Auſser der so eben angegebenen Function dient das *Trommelfell* nach Savart, übereinstimmend mit der von mir bereits mitgetheilten Ansicht, dazu, das innere Ohr gegen Einflüsse von auſsen zu sichern, die Paukenhöhle aber hat die Bestimmung, in Verbindung mit der *Eustachischen Röhre* einen Behälter von Luft abzugeben, die bei unveränderter Temperatur und Dichtigkeit eine stets gleichmäſsige Thätigkeit der einzelnen Theile des Gehör-Organs bedingt.

98) Aus der vorgetragenen Theorie des Schalles ist endlich gleichfalls klar, daſs die Fähigkeit des Ohres, die Eigenthümlichkeiten der Töne oder dasjenige, was man ihren Klang nennt (§. 40.), zu unterscheiden, auf dem Eindrucke beruht, welchen die den Ton erzeugenden Hauptschwingungen und die ihn begleitenden Nebenschwingungen der mit dem tönenden Körper verbundenen Theile auf das Gehörorgan hervorbringen. Daſs die Unterscheidung der Töne nach ihrer Höhe auf der Menge der Schwingungen beruhe, wuſste man schon lange, allein die Grenze des Gehörs, über welche hinaus der Unterschied der Schwingungsmengen nicht weiter wahrnehmbar sey, hatte man bisher noch nicht genügend ausgemittelt[1]. Insofern es solche Grenzen geben muſs, folgt schon von selbst, daſs die durch die mittleren Schwingungsmengen erzeugten Töne am leichtesten unterschieden werden, was auch mit der Erfahrung im Allgemeinen übereinstimmt und sich auch dabei zeigt, daſs die Künstler allezeit die mittleren Octaven eines Forte-Piano zuerst und dann mit gröſserer Mühe die tiefern und höhern nach diesen vermittelst der Octaven stimmen. Chladni nimmt an, daſs das tiefste C der Orgel-Pedale ($\underline{\underline{C}}$), welchem 32 Vibrationen in einer Secunde zugehören, der tieſste wahrnehmbare Ton sey und daſs in der Regel ein gesundes und geübtes Ohr alle zwischenliegende Intervalle bis zum sechsgestrichenen c $\left(\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{\overline{c}}}}}}\right)$ unterscheiden könne. So wunderbar und wahrhaft unglaublich hiernach die Fähigkeit des Gehörorgans erscheinen muſs, die auf einem Unterschiede der Vibrationsmengen von 32 bis 16384 beruhenden verschie-

1 Vergl. *Gehör* Bd. IV. S. 1218.

Digitized by Google

denen Töne zu unterscheiden, so ist doch neuerdings durch Savart[1] erwiesen worden, daſs der Umfang des Gehörs noch weiter reicht, als bis zu den genannten 16384 Doppelschwingungen, die Chladni[2] nicht mit Sicherheit anzunehmen sich getraute. Zuerst fand er, daſs die Longitudinaltöne eines Glascylinders von 159 Millim. Länge und 3 Millim. Durchmesser noch von den meisten Personen gehört wurden, obgleich sie zu etwa 31000 einfachen Schwingungen gehören. Dünnere Stäbe von 150 Millim. Länge, deren einfache Vibrationen 33000 betragen mögen, gaben nicht allezeit einen hörbaren Ton, entweder weil das Ohr ihn nicht zu vernehmen vermochte, oder seine Erzeugung zu schwierig war. Da die transversalen Schwingungen eines Stabes und die longitudinalen einer Luftsäule bei einer so groſsen Zahl nicht füglich genau meſsbar sind, so verfertigte Savart ein Rad mit Zähnen, die bei gleichmäſsiger Umdrehung gegen ein kleines Scheibchen von Holz schlugen und dadurch nach Art der Sirene einen Ton gaben. Hierbei gilt jeder Stoſs eines Zahnes mit dem Zwischenraume für eine doppelte Schwingung, und er fand, daſs das Ohr einen Ton von drei bis vier Tausend solcher Vibrationen leicht und deutlich wahrnahm; über diese Zahl hinaus wurde der Ton aber undeutlich. Ein gröſseres Rad jedoch mit nicht mehrern Zähnen, als das erste, was deren nur 400 hatte, aber von 48 Centim. Durchmesser, gab noch bei 10000 Pulsus einen sehr vernehmlichen Ton, jedoch wurde dieser undeutlich bei 12000 bis 15000 Doppelschwingungen. Ein neues Rad von 82 Centim. Durchmesser und 720 Zähnen gab einen vernehmlichen Ton bei 24000 Doppelschwingungen, der zwar undeutlicher war, als bei 15000, aber dennoch sicher hörbar. Savart meint, hierdurch sey die von Wollaston angegebene Grenze der wahrnehmbaren Töne schon überschritten, da nicht bloſs er selbst, sondern auch andere diese Töne gehört hätten; allein Wollaston hat diese Grenze gar nicht genau angegeben[3], um sie mit der hier bestimmten zu vergleichen. Ver-

1 Ann. Ch. et Phys. XLIV. p. 337. Poggendorff's Ann. XX. 290.

2 In seiner Akustik S. 34. sagt er, daſs ein Ton von 16384 Vibrationen kaum deutlich hervorgebracht oder vernommen werden könne.

3 Vergl. Bd. IV. S. 1218.

muthlich liegt die Grenze der wahrnehmbaren Töne noch weiter, als sie durch die genannten Versuche factisch nachgewiesen ist, aber die Apparate hierzu würden kostbar und schwierig zu handhaben seyn. Um dem Einwurfe zu begegnen, daſs das dünne Blättchen vielleicht einige Zähne überspringe, dürfte es vorzuziehn seyn, bei noch weiter gehender Vermehrung der Schwingung eine vergröſserte Sirene in Anwendung zu bringen.

Eine hiermit verwandte Frage war, wie viele solche Doppelschwingungen erfordert werden, um einen vernehmlichen Ton zu erzeugen. Um hierüber zu entscheiden, verfertigte Savart ein Rad, dessen Zähne ganz oder beliebig viele weggenommen werden konnten, und er fand, daſs bei unveränderter Geschwindigkeit der nämliche Ton auch dann noch gehört wurde, wenn nur zwei Zähne vorhanden waren, wonach also zwei Doppelschwingungen in der erforderlichen Zeit zur Erzeugung des erforderlichen Tones genügen. Da 10000 Doppelschwingungen noch sehr gut vernehmlich und unterscheidbar waren, so folgt hieraus, daſs das Ohr ein Zeitintervall von $\frac{1}{5000}$ einer Secunde zu unterscheiden vermöge; die höhern Töne waren zwar hörbar, konnten aber nicht mehr verglichen werden. Um zu versuchen, wie lange der Eindruck eines Tones daure, unterbrach Savart die Töne dadurch, daſs er einige Zähne aus dem Rade herausnahm, und fand dadurch, daſs allerdings eine Dauer des Eindruckes der Töne vorhanden ist, allein die Gröſse derselben konnte er nicht mit Sicherheit auffinden.

Savart[1] untersuchte bald darauf auch die Frage, welcher tiefste Ton für das Ohr noch wahrnehmbar sey, oder über die Grenze des Gehörs bei abnehmender Menge von Schwingungen. Hierzu bediente er sich eines eisernen Stabes von 2,5 Fuſs Länge, 2 Zoll Breite und 6 Lin. Dicke, welcher vermittelst einer auf seine Mitte lothrechten, durch ein Rad bewegten, Axe in einer verticalen Ebene so umgedreht wurde, daſs seine Enden zwischen zwei dünnen, auf dem Gestelle befestigten Bretchen durchgingen, die ihm bis auf 1 Millim. Abstand genähert werden konnten. Hiernach wurde der durch die Enden des Stabes erzeugte Luftstrom bei jedem Durchgange durch die Bretchen unterbrochen oder er stieſs vielmehr gegen dieselben

1 Ann. Chim. Phys. T. XLVII. p. 69. Poggendorff Ann. XXII.

so, daſs es schien, als würden die letztern selbst durch die Enden des Stabes getroffen. Bei langsamer Bewegung hörte man bloſs diese einzelnen Pulsus, bei schnellerer entstand jedoch ein Ton, aber ein schnarrender, weil man die einzelnen Pulsus mit ihm zugleich hörte. Wurden die Umdrehungen schneller, obwohl der Apparat nicht mehr als etwa 30 Pulsus in einer Secunde gestattete, so nahm die Reinheit des Tones mit dem Aufhören des Schnarrens zu, stets war er aber so stark klingend, daſs er eine Orgel, einen Baſs und sonstige Instrumente im Zimmer stark übertönte. Als Hauptresultat ging hervor, daſs bei 7 bis 8 Schlägen noch ein Ton gehört wurde, welcher also 14 bis 16 einfachen Vibrationen zugehört, und Savart glaubt daher, daſs die Grenze der tiefen und hohen Töne unbestimmbar sey, oder daſs es gar keine zu geben scheine, wenn nur die Eindrücke der Pulsus bei den tiefen lange genug dauern und die Dauer derselben bei den hohen zunehmend vermindert wird[1].

M.

---

1 Die Literatur der Akustik, insbesondere wenn man die Schriften über Musik hinzunimmt, ist ausnehmend weitläuftig und kann hier auf keine Weise ausführlich mitgetheilt werden. Auſser den gelegentlich als Autoritäten bei den einzelnen Untersuchungen genannten Werken erwähne ich noch: Ueber die Musik der Alten viele Abhandlungen in Mém. de l'Acad. des Inscr. T. VIII. p. 27. T. X. p. 111. T. XV. p. 293. T. XVII. p. 31. Roussier sur la musique des Anciens. Par. 1774. Barthelemi Entretiens sur l'état de la musique grécque. Amst. 1777. Burney's Abhandlung über die Musik d. Alten. Uebers. von Eschenburg. Leipz. 1780. Forkel allg. Gesch. d. Musik. Leipz. 1788. T. I. Musicae antiquae Scriptores ed. Meibomii. Amst. 1652. 4. Werke über neuere Musik sind unter andern: Zarlino Institutioni armoniche. Ven. 1558. Mersenni Harmonica. Par. 1635. fol. und Mersenne Harmonie universelle. Par. 1636. Cartesii musicae compendium. Utr. 1650. C. Schottii mechanica hydraulico-pneumatica. Würz. 1657. 4. Kircheri musurgia. Romae 1650. 2 T. fol. Kircheri Phonurgia. Rom. 1673. fol. Menzoli musica speculativa. Bologna 1670. 4. Salmon on musics. Lond. 1672. 8. Malcolm on music. Edinb. 1721. 8. Rameau Traité de l'Harmonie. Par. 1722. 4. Rameau Systême de musique. Par. 1726. 4. L. Euler tentamen novae theoriae musicae. Petrop. 1729. 4. Dalembert Elements de musique. Par. 1752. 8. Tartini della vera Scienza dell' armonia. Pad. 1754. 4. Marpurg Anfangsgründe der theoretischen Musik. Leipz. 1757. 4. Marpurg Versuch über die Temperatur. Bresl. 1776. 8. Jamard sur la théorie de la musique. Par. 1768. 8. Kirnberger Kunst des reinen

Schatten.

Umbra; Ombre; *Shadow*.

Schatten nennt man allgemein eine theilweise Beraubung des Lichts, in optischer Beziehung, wenn das wirklich vorhandene Licht durch undurchsichtige Körper zurückgehalten wird, bei zeichnender Darstellung aber, wenn durch weniger helle Farben ein solcher Mangel oder nur eine Verminderung des Lichts künstlich nachgebildet wird. Hier kann nur von dem ersteren die Rede seyn, jedoch muſs auch die darstellende Kunst die aus der Optik entnommenen Regeln über die Gestalt und Stärke der Schatten in Anwendung bringen.

Allezeit entsteht also ein Schatten dann, wenn sich ein dunkler Körper zwischen dem leuchtenden und dem erleuchteten befindet, indem jener Zwischenkörper die geradlinig fortgehenden Lichtstrahlen auffängt und bloſs die an seinen Grenzen hinstreifenden auf den erleuchteten fallen läſst. Insofern aber das Sehen der Gegenstände bloſs durch das von ihnen reflectirte oder ursprünglich ausgehende Licht möglich wird, kann der Schatten nicht selbst gesehn werden, wohl aber die Begrenzung des Lichts, oder vielmehr die durch diese Begrenzung eingeschlossene Fläche, die alsdann diesen Namen erhält. Diese Grenzen müssen aber um soviel leichter wahrnehmbar seyn und der Unterschied zwischen dem Eindrucke, welchen diese und die weniger oder gar nicht beleuchteten Stellen erzeugen, muſs um soviel mehr auffallen, je gröſser die Stärke des Lichts ist; es zeigt sich daher der Schatten im geraden Verhältnisse des ihn erzeugenden Lichts dunkler und wahrnehmbarer. Wird der nämliche Körper von mehreren Lichtquellen gleichzeitig beleuchtet, so muſs der zwischen ihnen befindliche undurchsichtige Körper von jedem leuchtenden einen Theil des Lichts auffangen. Liegen hierbei die leuchtenden Körper mit dem undurchsichtigen nicht in einer geraden Linie, so entstehn mehrere Schatten, und zwar so viele, als leuchtende Körper vorhanden sind. Die erzeugten Schatten

---

Satzes. Berl. 1771. 4. Sulzer's Theorie der schönen Künste. Leipzig 1772. 4 Bde. 8. Das vollständigste und belehrendste Werk über die Harmonie und Tonsetzkunst ist: Gottfried Weber's Versuch einer geordneten Theorie der Tonsetzkunst. 3te Aufl. Mainz 1830 — 32. 4 Bde. 8.

Digitized by Google

können dann jeder einzeln bestehen, oder sich theilweise einander decken, wobei die der einen Lichtquelle zugehörigen Schatten durch eine oder mehrere andere erhellt werden. Mit Rücksicht auf die Lichtstärke der erleuchtenden Körper sind dann die Schatten mehr oder weniger dunkel, und man nennt die gänzliche Entziehung des Lichts Kernschatten, die theilweise aber Halbschatten (*Penumbra;* Pénombre; *Penumbra*). Ein gleicher Erfolg muſs statt finden, wenn der lichtgebende Körper eine gewisse Gröſse hat, indem dann die einzelnen Puncte desselben als ebensoviele Lichtquellen zu betrachten sind, wobei die Ausdehnung der durch allmälige Abstufungen in einander übergehenden ganzen und Halbschatten von der Gröſse des leuchtenden sowohl als auch des dunkeln Körpers und von ihrem gegenseitigen Abstande nebst der Entfernung der beschatteten Fläche abhängt. Da sich alles dieses ohne Schwierigkeit übersehn läſst, so wird es genügen, die Entstehung des Halbschattens nur durch eine Zeichnung Fig. 170.
anschaulich zu machen. Zieht man von den äuſsersten Grenzen des leuchtenden Körpers A die den dunkeln Körper C berührenden Linien $a\alpha'$ und $a\beta$, dann ebenso $b\alpha$ und $b\beta'$, so bezeichnen $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ die im Halbschatten, $\beta\beta'$ aber die im Kernschatten befindliche Fläche, wobei der allmälige Uebergang zum Halbschatten durch theilweise Entziehung des Lichts und von diesem zum Kernschatten von selbst anschaulich wird.

Ist bloſs ein einzelner leuchtender Punct vorhanden, so fallen die von diesem ausgehenden, die Grenze des undurchsichtigen Körpers berührenden Lichtstrahlen auf die beschattete Ebene und erzeugen eine dem undurchsichtigen Körper vollkommen gleiche Figur, vorausgesetzt, daſs eine den leuchtenden und den undurchsichtigen Körper verbindende, bis zur auffangenden Fläche verlängerte Linie auf letzterer lothrecht steht. Man bedient sich dieses Mittels, um durch Bezeichnung der Grenzen des Schattens genaue Figuren des dunkeln Körpers zu erhalten, insbesondere der Profile menschlicher Gesichter (die sogenannten *Schattenrisse*), wobei jedoch zu bemerken ist, daſs die Durchmesser des Körpers und seines Schattens sich verhalten wie $n : n + m$, wenn n den Abstand des leuchtenden Punctes vom undurchsichtigen Körper, m aber den Abstand des letzteren von der beschatteten Fläche be-

Digitized by Google

zeichnet. Daſs hierbei mehrere Lichtquellen unzulässig sind, versteht sich von selbst, auch erwächst eine Veränderung aus der Gröſse des lichtgebenden Körpers, wenn man diesen nicht als einen bloſsen Punct betrachten darf. In der Ausübung bedient man sich einer beträchtlich entfernten Kerzenflamme (deren längliche Gestalt jedoch einige Undeutlichkeit erzeugt) und bringt den abzuzeichnenden Körper möglichst nahe an die beschattete Fläche.

Die Gröſse und Gestalt des Schattens werden durch die Gröſse und Gestalt des leuchtenden und des undurchsichtigen Körpers, desgleichen durch die Entfernung und Neigung der auffangenden Fläche bedingt. Alle diese verschiedenen Modificationen einzeln anzugeben würde zu weitläuftig seyn und ist um so weniger nöthig, als jeder vorkommende Fall leicht deutlich wird. Ist der leuchtende Körper kleiner als der dunkle, so wächst der Durchmesser des Schattens zunehmend mit der Entfernung, die ohne auffangende Fläche hiernach unendlich werden kann; der gesammte im Schatten befindliche Raum bildet dann eine abgekürzte Pyramide oder einen abgekürzten Kegel, deren untere Basis sich stets weiter bis ins Unendliche entfernt. Findet das umgekehrte Verhältniſs jener beiden Körper statt, so bildet der Schattenraum ohne auffangende Fläche ein endliches Prisma oder einen endlichen Kegel, aus dessen Gröſse sich die Entfernungen und Gestalten des leuchtenden und dunkeln Körpers finden lassen. Daſs auch hierbei eine unübersehbare Menge von Fällen statt finde, ergiebt sich auf den ersten Blick, und ich begnüge mich daher, nur dasjenige zu erwähnen, was in einiger Beziehung zur Astronomie steht und wovon sich leicht Anwendungen auf das Uebrige machen lassen. Sind beide Körper rund, heiſst Fig. 171. der Halbmesser des leuchtenden SA $= R$, des dunkeln CE $= r$, die Entfernung SC $= d$ und CH $= l$, so hat man

$$R : r = d + l : l,$$

also

$$l = \frac{rd}{R - r}.$$

Ist z. B. der Erdhalbmesser $r = 1$, der Sonnenhalbmesser $R = 112$, die Entfernung der Sonne von der Erde $d = 24000$ Erdhalbmesser, so wird $l = \frac{24000}{112 - 1} = 217$ Erdhalbmesser. Befindet sich der Mond in m, so hat man wieder

Digitized by Google

$$HC : CE = Hm : mt,$$

$$217 : 1 = 217 - 60 : mt,$$

woraus $mt = \frac{157}{217}$ oder $\frac{8}{11}$ Erdhalbmesser gefunden wird, und da der Mondhalbmesser nur $\frac{3}{11}$ Erdhalbmesser beträgt, so ergiebt sich auch ohne scharfe Zahlenbestimmungen, daſs die Durchschnittsfläche des Schattens hier weit gröſser ist, als die des Mondes.

Ehemals bediente man sich häufig des Schattens zur Messung der Höhen, insbesondere der Erhebungen der Gestirne über den Horizont, und gebrauchte hierbei die Bezeichnungen des geraden und des umgekehrten Schattens. Bezeichnet DE den Durchschnitt einer waagerechten Ebene, BA einen lothrechten dunkeln Körper, S einen leuchtenden, so fällt das Ende des Schattens in C und dieser Schatten heiſst der *gerade Schatten* (*Umbra directa*; ombre droite; *Right shadow*). Ist S als ein leuchtender Punct zu betrachten, so begrenzt die Linie SBC den Schatten genau und es ist Fig. 172.

$$AC = AB \text{ Cotang. } ACB \text{ und } AB = AC \text{ Tang. } ACB.$$

Ueberhaupt können alle Theile des Dreiecks trigonometrisch gefunden werden. Ist dagegen DE der Durchschnitt einer verticalen Ebene und BA ein auf ihr lothrechter horizontaler dunkler Körper, so ist SBC die Grenze des Schattens, welcher dann *umgekehrter Schatten* (*Umbra inversa;* ombre verse ou renversée; *Versed shadow*) heiſst, auch ist für einen leuchtenden Punct S die Länge des umgekehrten Schattens Fig. 173.

$$AC = AB. \text{ Tang. } B.$$

Um auf die Weise, wie dieses bei den Römern geschah, die Sonnenhöhen zu finden, muſs S als Mittelpunct der Sonne betrachtet werden, und es giebt dann beim geraden Schatten der Winkel ACB, beim umgekehrten der Winkel ABC die Sonnenhöhe, wobei die Länge des dunkeln Körpers bekannt seyn muſs. Heiſst nämlich die Sonnenhöhe H, so ist beim geraden Schatten $\frac{AB}{AC} = \text{Tang. } H$ und beim umgekehrten $\frac{AB}{AC} = \text{Tang. } H$. Die Alten maſsen auf diese Weise die Mittagshöhen der Sonne vermittelst lothrechter Obelisken oder *Gnomons*[1]. Plinius[2] erzählt als Beispiel, daſs am Tage der Nachtgleichen zu Rom

1 Vergl. *Gnomon.* Bd. IV. S. 1607.
2 H. N. L. II. p. 72.

Digitized by Google

der Schatten der Sonne $\frac{1}{8}$ kürzer war, als die Länge des Gnomons, oder $\frac{AB}{AC} = \frac{9}{8} = 1{,}125$. Es ist aber 1,125 nahe gleich Tang. 48° 22′. Zieht man für die Reduction auf den Mittelpunct 16′ ab, so giebt dieses 48° 6′ für die Sonnenhöhe in den Nachtgleichen und von 90° abgezogen die Polhöhe = 41° 54′, mit den neuesten Bestimmungen genau übereinstimmend. Im Ganzen gewährt jedoch diese Methode der Höhenmessungen nur geringe Genauigkeit, weil die Sonne kein leuchtender Punct ist, weswegen der Halbschatten und die Beugung des Lichts groſse Ungewiſsheit herbeiführen. Ebendieses ist der Fall bei der vorgeschlagenen Methode, die Höhe irdischer Gegenstände aus dem Schatten zu finden, wenn man bis zur Basis derselben selbst oder nahe an dieselbe kommen kann, weswegen man sich derselben nur bei Thürmen und ähnlichen Gegenständen, nicht füglich bei Bergen bedienen kann.
Fig. 172. Für diesen Zweck wird auf einer horizontalen Ebene DE ein Stab ab von bekannter Höhe lothrecht aufgerichtet, und dann miſst man gleichzeitig die Gröſsen AC und aC, die nicht nothwendig in der nämlichen verticalen Ebene liegen müssen, auch kann ab im Puncte C oder sonst willkürlich, selbst auf einer andern Ebene, errichtet werden, wenn nur aE und AE horizontale Ebenen und beide Gröſsen, ebenso wie ab, genau meſsbar sind. Man hat dann

$$ab : ac = AB : AC, \text{ also } AB = ab\,\frac{AC}{ac}.$$

Wenn der leuchtende und der dunkle Körper feststehn, so verändern die Schatten ihren Ort nicht, wird aber einer derselben bewegt, so bewegen sich auch die Schatten, und zwar in gleicher Richtung mit dem dunkeln und in entgegengesetzter mit dem leuchtenden Körper. Bewegt sich ein Mensch beim Scheine der Sonne oder des Mondes, so folgt ihm sein Schatten, auch bewegen sich die Schatten der Gegenstände regelmäſsig nach der regelmäſsigen Bewegung dieser leuchtenden Körper. Trägt jemand ein Licht, so bewegen sich die Schatten der dunkeln feststehenden Körper in entgegengesetzter Richtung. Hieraus und aus der Lage der Ebenen, auf welche die Schatten projicirt werden, erklärt sich das Laufen der Schatten von den durch den Wind bewegten Wolken. Vorzüglich hat man jederzeit die durch die Sonne erzeugten Schatten der Aufmerksamkeit gewürdigt. Steht

Digitized by Google

die Sonne im Horizonte, so sind die Schatten unendlich lang, um Mittag dagegen sind sie am kürzesten; beträgt die Sonnenhöhe 45°, so ist die Länge der geraden und der umgekehrten Schatten der Länge der Körper gleich. Ehemals bezeichnete man in der Geographie die Bewohner der verschiedenen Erdzonen durch die Benennungen: *Einschattige*[1], *Zweischattige*, *Umschattige* und *Unschattige*, die einzeln erläutert und am gehörigen Orte nachzusehn sind. In der gemäſsigten und kalten Zone fallen die Schatten der Körper stets nur nach einer Seite, indem das nördliche oder südliche Azimuth zunehmend wächst, während der vormittägige Schatten eines lothrechten Stiftes sich fortwährend der Mitternachtslinie oder auf der südlichen Halbkugel der Mittagslinie nähert. Wenn aber in der nördlichen Hälfte der heiſsen Zone die Sonne eine gröſsere nördliche Abweichung hat, als die Polhöhe des Orts beträgt, so wächst das nördliche Azimuth der Sonne täglich vom Aufgange der Sonne an eine Zeit lang bis zu einer gewissen Gröſse, steht dann still und wird kleiner, indem die Sonne auf der Nordseite des lothrechten Stiftes culminirt. Die Schatten solcher Stifte drehen sich daher (wegen ihrer abnehmenden Länge) des Morgens zuerst gegen Norden, stehn dann still und drehn sich gegen Süden, am Nachmittage geschieht etwas Aehnliches, aber in entgegengesetzter Richtung. Für die Orte in der südlichen Hälfte der äquatorischen Zone findet das Nämliche in entgegengesetzter Richtung statt. Dieses Zurückgehn der Schatten ist von Varenius[2] und Wolf[3] als eine Merkwürdigkeit der heiſsen Zone angeführt, von Widder[4] und Kaestner[5] aber ausführlich untersucht worden.

Auch die Gröſse des Halbschattens kann geometrisch gefunden werden, wenn der Durchmesser des leuchtenden Körpers (der Sonne) und die Höhe des schattengebenden Stiftes bekannt sind. Es ergiebt sich hieraus, daſs Sonnenhöhen und überhaupt die Höhen der Gegenstände zur Mittagszeit am besten gemessen werden, wie unter andern La Hire[6] gezeigt

---

1 S. Bd. III. S. 98.
2 Geographia generalis. Sect. VI. cap. 27. prop. 13.
3 Elementa geographiae math. §. 171.
4 De Solis et umbrae stili retrogradatione. Groning. 1760. 4.
5 Astron. Abh. Erste Samml. Gött. 1772. 8. S. 244.
6 Mém. de Par. 1711. p. 157.

hat. Dabei ist jedoch die Unsicherheit zu berücksichtigen, die aus der Beugung des Lichts entsteht, worüber Maraldi[1] die Resultate seiner Versuche mittheilt. Da alle hierher gehörige Aufgaben leicht und von keinem bedeutenden Nutzen für die Anwendung sind, so überhebe ich mich der weitern Verfolgung dieses Gegenstandes[2].

Gefärbte Schatten.

Die bisher betrachteten Schatten sind schwarz, mehr oder minder tief, je nach der gröſsern oder geringern Entziehung des Lichts; es giebt indeſs auch gefärbte Schatten[3], deren Färbung man bis zu einer sehr bedeutenden Tiefe bringen kann. Sie haben von jeher groſse Aufmerksamkeit erregt und manche Erklärungen veranlaſst, es wird jedoch genügen, von den ältern nur eine kurze Uebersicht mitzutheilen, da aus der Einfachheit und Angemessenheit der richtigen Erklärung die Unhaltbarkeit der übrigen von selbst folgt.

Die am häufigsten vorkommenden gefärbten Schatten sind die blauen, die sich bei der Morgen- und Abenddämmerung zeigen und eine unverkennbare hellere oder dunklere Farbe zeigen, je nachdem die durch ein Kerzenlicht erzeugten Schatten, wenn sie auf eine weiſse Fläche fallen, durch mehr oder minder helles Tageslicht erhellt werden. Leonardo da Vinci, der im Anfange des 16. Jahrhunderts lebte, redet zuerst von ihnen[5], indem er beobachtet hatte, daſs die Schatten auf einer weiſsen Mauer gegen Abend blau seyen. Nach seiner Meinung, welcher auch Gehler[6] beipflichtet, liegt die Ursache in der Bläue des Himmels, welche den Schatten erhellen soll, während auf die übrigen Theile röthliches Licht von der Sonne fällt. Inzwischen ist diese Hypothese leicht zu widerlegen; sie fällt von selbst weg, wenn man die Bläue des Himmels für eine subjective Farbe hält[6], findet aber darin

1 Ebend. 1723. S. 111. Vergl. Lambert Photometria §. 1218.

2 Eine ausführliche mathematische Construction des Halbschattens giebt Bordoni in Giornale di Fisica cet. T. XV. p. 255.

3 Vergl. Art. *Farben*. Bd. IV. S. 129.

4 Traité de la Peinture. Par. 1651. ch. 328.

5 Wörterb. Th. III. S. 824.

6 *Atmosphäre* Bd. I. S. 504.

einen genügenden Gegengrund, daſs kein durch den reinsten blauen Himmel in nach Norden gelegenen Zimmern erleuchteter Gegenstand die geringste blaue Färbung zeigt. Otto v. Guericke[1] erwähnt zuerst die blauen Schatten, die sich bei Kerzenlichte in der Morgendämmerung zeigen, und betrachtet sie als einen Beweis, daſs Weiſs und Schwarz Blau erzeugen. Von da an bis 1742 findet man die Sache nicht weiter erwähnt. In diesem Jahre aber, im Monat Juli, beobachtete Büffon[2], als die Sonne roth unterging, der heitere Himmel aber in Westen mit dünnen, gelbrothen Wolken überzogen war, daſs die Schatten der Bäume auf einer weiſsen Mauer eine zarte grüne, etwas ins Blaue spielende, Farbe hatten; namentlich war der Schatten einer nur 3 Fuſs abstehenden Laube lebhaft grün. Die Erscheinung dauerte 5 Minuten. Am folgenden Morgen, bei gelblichen Dünsten in Osten, waren die Schatten blau und nach 3 Minuten schwarz; am Abende dieses Tages aber zeigten sie sich wieder grün. Nach einer Unterbrechung von sieben Tagen durch trübes Wetter setzte er die Beobachtungen fort, sah aber nur blaue Schatten von verschiedener Tiefe, und bemerkte, daſs so gefärbte Schatten von jedem leicht beobachtet werden könnten, wenn man nur während der Morgendämmerung das von einer Kerzenflamme auf weiſses Papier fallende Licht durch einen Finger auffange, welches auch allerdings das einfachste Mittel ist, die Erscheinung wahrzunehmen. Büffon hat hiernach also die grünen Schatten gleichfalls beachtet, dennoch aber berücksichtigte man später fast nur die blauen. Der Abbé Mazeas[3] fand, daſs die zwei Schatten, welche gleichzeitig durch einen dunkeln Körper vom Monden- und Kerzenlichte erzeugt werden, ersterer röthlich, letzterer bläulich gefärbt seyen, betrachtete dieses aber bloſs als eine Schwächung des Lichts. Diesen Versuch wiederholte Wilkens[4], weil Bergmann[5] gesagt hatte, eine Charte im Mondschein gebe schwarzen, nicht röthlichen Schatten, und fand, daſs der durch Kerzenlicht erhellte Mondschatten hellbraun, der durch Mondschein erhellte Kerzenschatten aber blau sey. Mel-

1 Exper. nova de Vac. Spat. Amst. 1672. fol. p. 142.
2 Mém. de Paris. 1742. p. 217.
3 Mém. de l'Acad. de Prusse. 1752.
4 Gren. Journ. d. Phys. T. VII. p. 21.
5 Beschreibung d. Erdk. Th. II, S. 20.

Digitized by Google

ville[1] und Bouguer[2] traten der durch Lionardo da Vinci aufgestellten Hypothese bei, und schrieben die bläuliche Färbung der Bläue des Himmels zu, wodurch der Schatten eines Körpers im Tageslichte auf weiſsem Papiere beleuchtet würde, wobei ersterer jene Färbung selbst von den Dünsten der Atmosphäre ableitete.

Seit Büffon stellte zuerst wieder Beguelin[3] zahlreiche Versuche über die blauen Schatten an, dehnte aber seine Untersuchungen nicht auf sonstig gefärbte aus, und blieb daher der eben erwähnten Hypothese gleichfalls treu. Die von Büffon wahrgenommene grüne Färbung leitete er von zufällig beigemischten gelben Strahlen ab, vielleicht von einem gelblichen Anstriche der Mauer. Das Blau der Schatten komme zum Vorschein, sobald die Beleuchtung der angrenzenden Stellen schwach genug sey, um den Wiederschein des vom blauen Himmel auf die beschatteten Stellen auffallenden Lichts wahrzunehmen, also bei einem niedrigen Stande der Sonne. Als die Sonne am Abend noch 4° Höhe hatte, zeigte sich der Schatten seines Fingers noch grau, wenn er aber das Papier fast horizontal hielt, daſs die Sonnenstrahlen sehr schief auffielen, erschien das ganze Papier bläulich und der Schatten schön hellblau. Eine Viertelstunde später fing der Schatten an blau zu werden, auch wenn die Sonne senkrecht auf das Papier schien, wenn man dasselbe aber gegen die Erde kehrte, waren die auf die untere Seite fallenden Strahlen nicht blau. Um sehr schöne blaue Schatten zu erhalten, muſste die Sonne nicht höher als 2° stehen, doch fingen sie zuweilen an, eine bläuliche Färbung anzunehmen, wenn die Sonnenhöhe noch 7° betrug. Wird das Sonnenlicht von einem gegenüberstehenden weiſsen Hause in ein Zimmer geworfen, so entstehn zu jeder Tagszeit blaue Schatten, wenn nur am Orte des Versuchs ein Theil des blauen Himmels sichtbar ist[4]. Die hier gegebene Erklärung erhielt sehr allgemeinen Beifall, obgleich

1 Edinburgh Essays. T. II. p. 75.

2 Traité d'Optique p. 368.

3 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1767. p. 27.

4 Die letztere Behauptung ist nicht in ganzer Strenge richtig, wohl aber gilt sie für nach Norden gelegene, also schwach beleuchtete, Zimmer, indem das weniger helle Tagslicht das schwächere Licht am Morgen vertritt.

Digitized by Google

ein Ungenannter[1] das richtige Argument entgegenstellte, daſs man Schatten von verschiedenen Farben erhalten könne, so oft Gegenstände von mehr als einem Lichte beleuchtet würden, wenn diese nur ein bestimmtes Verhältniſs der Stärke hätten. Hierdurch, nicht aber durch den Wiederschein vom blauen Himmel, werde also auch der blaue Schatten erzeugt.

Mongez[2] stellte eine groſse Menge Versuche an, um die Ursache der gefärbten Schatten aufzufinden, der er auch sehr nahe kam, ohne jedoch den eigentlichen Grund aufzufinden. Im Allgemeinen leitete er die gefärbten Schatten von einer Zerlegung des Lichts oder einer Schwächung desselben ab, die es hindere, in seinem völligen Glanze zu erscheinen. Die Empfindung der Farben beruhe überhaupt nicht bloſs auf der Natur der Lichtstrahlen, sondern werde, eben wie das Urtheil über Gröſse und Entfernung, durch Verhältnisse bestimmt. Die Entstehung der blauen Schatten einer Lichtkerze in der Morgendämmerung rührt nach seiner Ansicht daher, daſs das Papier nicht alles Lichts beraubt, sondern zugleich durch das Licht des blauen Himmels erhellet wird. Werde dann das Licht ausgelöscht, so finde für die gesammte Papierfläche die nämliche Bedingung statt, als vorher für den beschatteten Theil, erscheine dann aber nicht mehr blau. Um dieses zu erklären stellt er den Satz auf, daſs uns alle Körper, sobald nur Lichtstrahlen einer Art zum Auge gelangen, weiſs erscheinen. Fallen also bloſs rothe Strahlen auf weiſses Papier, so erscheint uns dieses dennoch weiſs, und eben so halten wir rothe Objecte durch rothe Gläser betrachtet für weiſs. Färbung entsteht also überhaupt nur durch den Gegensatz verschiedenen Lichts. Gegen das Sehen des weiſsen Lichts beim Vorhandenseyn bloſs einer Art farbigen Lichts hat sich Le Gentil[3] bereits erklärt und die Thatsache überhaupt als unstatthaft oder auf Täuschung beruhend angegeben. Letzteres ist allerdings der Fall, und die Ursache liegt eben darin, daſs das Auge allmälig durch den dauernden Eindruck einer jeden

1 Journ. de Phys. 1783. Dec.

2 Ann. de Chim. T. III. p. 131. Daraus in Gren Journ. T. II. p. 142. Vergl. Journ. de Phys. T. XII. p. 127.

3 Ann. de Chim. T. X. p. 225. Daraus in Green Journ. T. VI. p. 165.

Digitized by Google

Farbe abgeſtumpft wird, deswegen alſo durch gefärbte Gläſer hauptsächlich nur die Geſtalten der Körper bei geringerer Lichtſtärke wahrzunehmen pflegt. Die Gegenſtände erſcheinen daher durch alle gefärbte Gläſer nach einiger Zeit bloſs minder hell und wegen des anderweitigen durchgehenden Lichts in ihren eigentlichen Farben mit hervorſtechender Tiefe derjenigen Färbung, die dem Glaſe eigen iſt. Näher kam Mongez der eigentlichen Erklärung der Sache dadurch, daſs er das Phänomen mit andern, wirklich damit verwandten, in Verbindung brachte, nämlich daſs der Lichtkreis, welcher von der Sonne durch eine Oeffnung in einem rothen ſeidenen Vorhange auf weiſses Papier fällt, grün erſcheint, bei einem grünen Vorhange aber roth. Gehler[1] verweiſet zwar dieſe Thatſache als nichts beweiſend unter die Claſſe der zufälligen Farben, aber aus der richtigen Erklärung der gefärbten Schatten geht evident hervor, daſs beide Arten von Phänomenen allerdings zuſammengehören.

Eine Reihe intereſſanter Verſuche, wodurch Beguelin's gangbare Hypotheſe völlig umgeſtoſsen wurde, ſtellte Rumford[2] an. Unter der groſsen Zahl erwähne ich bloſs diejenigen, die zu jener Widerlegung hauptſächlich dienen. Wenn man ein verfinſtertes Zimmer durch eine Lichtkerze erhellet, dann einen Fenſterladen nur etwa ½ oder ¾ Zoll weit öffnet, ſo daſs nur wenig Tagslicht hineinfällt, dann die Kerze ſo ſtellt, daſs ſie mit dem einfallenden Tagslichte einen Winkel von etwa 40° bildet, ſo erzeugt ein beide Lichtquellen auffangender dunkler Körper auf 2 bis 3 Zoll von ihm abſtehendem weiſsen Papiere zwei Schatten, einen gelben (gelbrothen) und einen blauen, und zwar iſt der des Kerzenlichtes blau, der des Tageslichtes gelb. Nähert man die Kerze mehr, ſo wird der blaue Schatten tiefer, der gelbe blaſser, bleibt die Kerze unverrückt, ſo entſtehn dieſe Veränderungen auch durch mehr oder minderes Oeffnen des Fenſterladens. Rumford hielt es für nicht ſchwer, die Entſtehung des gelben Schattens zu erklären, deſto mehr die des blauen; jedoch war er überzeugt, daſs die Urſache nicht in der Färbung des Himmels liegen könne, da die Farbe dann am ſchönſten zum Vorſchein kam,

1 Wörterbuch. Th. V. S. 814.

2 Phil. Trans. 1794. P. 1. p. 107. Gren's N. Journ. T. II. p. 58.

Digitized by Google

wenn das einfallende Tageslicht von ganz weiſsem Schnee des benachbarten Daches reflectirt wurde. Gelegentlich erstreckten sich seine Versuche auch auf die subjectiven Farben, und alle Erscheinungen vermochten ihn, zu schlieſsen, daſs die Färbung der Schatten nur auf einer Täuschung durch den Contrast oder irgend einer Wirkung anderer umgebender Farben beruhe.

Schon vor geraumer Zeit stellte Opoix[1] die Hypothese auf, die blauen Schatten entständen durch die stärkere Beugung der blauen Lichtstrahlen um die Ränder der undurchsichtigen Körper und sie gingen ins Grüne über, wenn zu ihrer Bläue gelbe Strahlen hinzukämen. Eben diese Hypothese hat später Franz v. Paula Schrank[2] mit einer an Weitschweifigkeit grenzenden Ausführlichkeit darzuthun gestrebt; inzwischen scheint es mir überflüssig, die groſse Zahl seiner angestellten Versuche hier nachzuerzählen, da sie sämmtlich aus der richtigen Theorie leicht erklärt werden können. Hassenfratz[3] stellt eine groſse Menge theils wahrer, theils falscher Thatsachen zusammen, die jedoch nicht genügen, den eigentlichen Grund des fraglichen Problems aufzufinden. Nach ihm soll der blaue Schatten bei gleicher Höhe der aufgehenden Sonne zu Messina violett, zu Paris blau mit einem kleinen Stich ins Grünliche, zu Kopenhagen merklicher grün, zu Petersburg noch mehr und zu Skalholt völlig grün seyn. Ebenso soll er um Mittag an diesen Orten vom Schwarz zum Violett übergehn, beides, wie überhaupt die Färbung der Schatten, eine Folge der Helligkeit des Sonnenlichts und des der Atmosphäre. Mit einer mehr oder weniger genäherten Kerzenflamme, also durch wechselnde Stärke des Lichts, lasse sich diese Erscheinung künstlich nachmachen. Wenn in einem Zimmer mehr Lichtquellen mit dem von der Atmosphäre oder sonstigen Körpern reflectirten Lichte zusammenkommen, so lassen sich alle mögliche Farben der Schatten erzeugen, welche aber im Allgemeinen darauf hinauskommen, daſs Gelb und Blau, Roth und Grün sich wechselseitig hervorbringen. So werden diese beiden Farben der Schatten allezeit wechseln, wenn verschiedene Lichter in einem übrigens dunkeln und kein

---

1 Journ. de Phys. T. XXIII. p. 402.

2 Münchener Denkschr. 1811. u. 12. S. 293. und 1813. S. 51.

3 Journ. de l'École Polyt. Cah. XI. p. 272.

Digitized by Google

farbiges Licht reflectirenden Zimmer sie hervorbringen, wovon der Grund in der gröſsern oder geringern Menge des verbrennenden Wasserstoffgas liegen soll. Es scheint mir überflüssig, eine ausführliche Prüfung aller dieser verschiedenen Sätze folgen zu lassen.

Es wird genügen, den Inhalt zweier Abhandlungen nur kurz anzugeben, die ausführlich über diesen Gegenstand handeln. Das Resultat der Untersuchungen, welche Zschokke[1] mit Benutzung theils der meisten bisher bekannt gewordenen, theils eigends deswegen angestellter Versuche erhalten hat, kommt im Wesentlichen darauf hinaus, daſs farbiges Licht keinen schwarzen Schatten geben könne, sondern nur einen gefärbten von derjenigen Farbe, welche das Licht haben würde, wenn der Schatten die Farben des Lichts hätte. Es ist dieses jedoch nur eine etwas künstliche Darstellung des Satzes, daſs die Schatten allezeit die complementäre Farbe des sie erzeugenden Lichts haben sollen, wofür sich einige Gründe aus der Erfahrung beibringen lassen; allein das Ganze giebt eigentlich keine wirkliche Erklärung, um so weniger, als bei einer Abstraction von den farbigen Schatten der Ausdruck auf die schwarzen gar keine Anwendung leidet. Trechsel[2] ist auch bereits als Gegner dieser Hypothese aufgetreten und hat die Unzulässigkeit derselben nachgewiesen, die aus einem einfachen Versuche mit Evidenz hervorgeht, wenn man ein dunkles Zimmer mit Brewster's monochromatischer Lampe[3] erhellet und einen durch dieses Licht erzeugten Schatten auf weiſses Papier fallen läſst, welcher sonach blau seyn müſste, aber bloſs grau ist, weil er wegen geringer Intensität des Lichts nicht tief schwarz seyn kann. Es versteht sich auch von selbst, daſs einfach und ohne Nebenbedingungen die Entziehung des vorhandenen Lichts jeder Art nichts anderes als Nichtlicht, d. h. Schwarz, erzeugen kann. Anderweitige Versuche dieser Art sind jedoch leicht täuschend, weil es schwierig ist, ganz einfaches Licht zu erhalten. Nach Trechsel sind die Farben der Schatten theils subjectiv, theils objectiv,

1 Die farbigen Schatten u. s. w. Arau 1826. 8.

2 Biblioth. univ. T. XXXII. p. 3.

3 Eine gewöhnliche Weingeistlampe, auf deren Docht man einige Krystalle Kochsalz legt.

Digitized by Google

die erstern in Folge der Ermüdung des Auges durch einen stärkern Lichteindruck, die letztern, insofern sie durch die Farbe des Lichts, welches den Schatten erleuchtet, erzeugt werden.

Die gehaltreichste Darstellung dieser Aufgabe ist von Pietro Petrini[1], welcher die bekannten Erfahrungen durch einige neue vermehrt hat. Er stellt folgenden allgemeinen Satz auf: wenn unser Auge zwei Lichtmassen A und B zugleich wahrnimmt, und in A ein farbiger Bestandtheil mit gröſserer Intensität wirkt, als in B, so verschwindet in eben dem Maſse dieser Lichteindruck in B, und bleibt davon nur das complementäre Licht übrig. Als Beispiel wird angeführt, daſs der Schatten eines Würfels auf weiſsem Papiere grün wird, wenn man das von rothem Papiere reflectirte Licht auf den Apparat fallen läſst. Diese Erklärung ist ohne Widerrede die richtige, und genügt allen hierüber bekannt gewordenen Erscheinungen. Jeder Nerv ermüdet durch einen lange anhaltenden Eindruck auf denselben und jeder schwächere Eindruck verschwindet oder wird weniger lebhaft empfunden, wenn ein anderer stärker gleichzeitig vorhanden ist. Wenn daher das Auge einen starken Eindruck von einem gewissen farbigen Lichte erhält, so verschwindet diese Farbe aus dem schwächeren weiſsen Lichte, welches den Schatten erleuchtet und die entgegengesetzte Farbe wirkt um so lebhafter, wie in den neuesten Zeiten namentlich v. Goethe[2] überzeugeud dargethan hat. Hiervon läſst sich leicht eine Anwendung auf die so viel untersuchten blauen Schatten machen, die entstehn, wenn die durch ein Kerzenlicht erzeugten vom Tageslichte erhellet werden, statt daſs die durch das Tagslicht erzeugten durch Kerzenlicht eine gelbröthliche Färbung erhalten. Kerzenlicht ist nicht absolut weiſs, sondern hat stets eine gelbröthliche Färbung, weil der gesammte Kohlenstoff in der Flamme nicht zum vollständigen Weiſsglühn gelangt, sondern zum Theil nur roth oder rothgelb glüht. In dem die Schatten der Kerzen erhellenden Tagslichte am Morgen und am Abend (denn am hellen Tage ist das Sonnenlicht so stark,

---

1 Memorie di Mat. e di Fisica della Soc. Ital. T. XIII. p. 11.

2 Zur Farbenlehre Th. IV. p. 27.

daſs Kerzen keinen hinlänglich wahrnehmbaren Schatten geben) wird daher die durch die Flamme in vorzüglicher Stärke erzeugte rothgelbe Farbe am wenigsten wirksam seyn, und daher muſs er als Blau erscheinen. Um dieses deutlicher einzusehn, denke man sich im weiſsen Tageslichte die rothen und gelben Strahlen oder auch nur die einen von beiden, in Folge ihres geringen Eindrucks fehlend oder geschwächt, also das Gelb und Roth an sich und im Orange, das Gelb im Grün und das Roth im Violett, so bleibt das Blau an sich, im Violett und im Grün (alles dieses bloſs in Beziehung auf den Eindruck genommen, welchen das farbige Licht auf das Auge macht), und der Schatten muſs daher in vielfachen Abstufungen, je nach der gröſsern oder geringern Wirksamkeit des farbigen Lichts in der Flamme und dem Tageslichte, blau gefärbt erscheinen. Zugleich sind auch im Tageslichte selbst die gelben Strahlen die stärksten, weſswegen das vollkommene Weiſs, namentlich beim Papier, der Wäsche, den Wänden u. s. w. leicht ins Gelbliche spielt, und man daher diesen Schein durch einen geringen Zusatz von Blau entfernt, wie mir denn auch die fast unerreichbare blendende Weiſse des Schnees auf der unmerklichen bläulichen Färbung zu beruhn scheint, die dem reinen Wasser nach H. Davy eigen ist und sich im Eise kenntlich macht. Wenn also das weiſse Papier, auf welches der Kerzenschatten fällt, schwaches Tageslicht mit etwas wenig überwiegendem Gelb und zugleich das rothgelbliche Kerzenlicht reflectirt, durch welches das Auge ohnehin unmittelbar von der Flamme aus afficirt ist, so muſs dasselbe hiergegen unempfindlicher werden und dieser Antheil daher aus dem schwächern, vom Schatten zurückgeworfenen Lichte schwinden, so daſs das blaue Licht hierin überwiegend zum Vorschein kommt.

Daſs die blauen Schatten vorzugsweise häufig beobachtet werden, hat hauptsächlich darin seinen Grund, weil die Bedingungen zu ihrer Erzeugung so oft von selbst gegeben werden; zugleich aber mag auch der Umstand hierbei mitwirkend seyn, daſs das Auge gegen die beiden Farben Gelb und Blau am empfindlichsten ist, indem das Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen, sich wohl ausschlieſslich auf Grün und Roth erstreckt[1].

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1423.

Digitized by Google

Es ist jedoch nicht schwer, auch sonstige gefärbte Schatten künstlich zu erzeugen, die ohnehin zuweilen von selbst zum Vorschein kommen. Die Schatten des Tageslichts, durch gelbröthliches Kerzenlicht erhellet, müssen schon in Folge des Gegensatzes in dieser Farbe erscheinen; man nimmt sie am besten wahr, wenn man Morgens oder Abends bei schwachem Lichte von auſsen in ein erleuchtetes Zimmer sieht. Blaue Schatten kann man auch durch bloſses Tageslicht von ungleicher Stärke erzeugen. Wenn nämlich gegen Sonnenuntergang die röthlich gelben Strahlen der Sonne schräg gegen eine Wand westlich liegender Zimmer fällt, so erhält man bei etwa 6 bis 10 Fuſs Entfernung vom Fenster auf weiſsem, horizontal liegendem Papiere vermittelst eines undurchsichtigen Stiftes einen schwarzen Kernschatten und einen schönen blauen Halbschatten. Dieser wird durch die von der Wand reflectirten, seitwärts vom Auge schwach wahrgenommenen gelbrothen Strahlen erzeugt und fällt weg, wenn man diesen den Rücken zuwendet. Fällt in heitern Wintertagen der Schatten gegen Abend auf die Fläche des weiſsen Schnees, so ist er schön blau. Sonstige schön und sehr kenntlich gefärbte Schatten erhält man leicht, wenn man Kerzenlicht in einem bloſs hierdurch erhelleten Zimmer zum Theil frei, zum Theil durch eine gefärbte Glasscheibe auf weiſses Papier fallen läſst und in dem farbigen Theile des Papiers durch einen hinter die Glasscheibe gehaltenen Stift einen Schatten erzeugt, dessen Farbe allezeit die complementäre der Glasscheibe ist, und mehr oder weniger tief erscheint, je nachdem sich der Schatten dem Rande des farbigen Lichts mehr nähert oder mehr davon entfernt. Hierbei giebt eine rothe Scheibe grünen Schatten und umgekehrt eine grüne rothen, eine violette orangefarbenen, eine gelbe blauen und umgekehrt, welches alles aus der angegebenen Theorie nothwendig folgt. Vermittelst des Tageslichts lassen sich diese Erscheinungen gleichfalls, aber minder leicht, hervorbringen.

M.

Digitized by Google

S c h e e l.

Wolfram, Wolframmetall, Tungsteinmetall; *Schelium, Wolframium;* Tungstène; *Tungstenum.*

Dieses wenig verbreitete Metall findet sich im scheelsauren Kalk (Tungstein), im scheelsauren Eisen- und Mangan-Oxydul (Wolfram) und im scheelsauren Bleioxyd. Es ist stahlgrau von 17,4 spec. Gew., sehr hart und sehr strengflüssig.

Auſser einem braunen *Suboxydul* und einem blauen *Suboxyd* bildet es mit Sauerstoff die *Scheelsäure* (96 Scheel auf 24 Sauerstoff), welche ein gelbes, geschmackloses Lakmus nicht röthendes, nicht im Wasser, fast gar nicht in Säuren, auſser ein wenig in Salz- und Fluſssäure lösliches, aber mit Salzbasen zu oft krystallisirbaren Salzen, von denen die des Ammoniaks, Kali's, Natrons und der Bittererde im Wasser löslich sind, verbindbares Pulver darstellt.

Mit weniger Chlor liefert es eine dunkelrothe, schmelzbare, in gelbrothen Dämpfen verflüchtigbare und in Nadeln krystallisirende, mit mehr Chlor aber eine mit gelblicher Farbe verdampfbare und sich in gelbweiſsen Krystallschuppen sublimirende Verbindung. Mit weniger Schwefel bildet es ein grauschwarzes, mit mehr ein hellgelbes Pulver.

G.

S c h e i t e l k r e i s.

Verticalkreis, Verticalcirkel; *Circulus verticalis;* Vertical, Cercle vertical; *Vertical circle.*

Scheitel heiſst der obere Theil des Kopfes, metaphorisch der Kopf selbst. Wendet man dieses auf das Himmelsgewölbe an, so heiſst der höchste Punct desselben gleichfalls der *Scheitel*, gewöhnlicher in der Astronomie *Zenith*, von welchem aus eine Linie durch den Mittelpunct der Erde, diese als Kugel gedacht, verlängert, auf der entgegengesetzten Seite in den *Nadir* trifft. Der Scheitelpunct des Himmelsgewölbes oder

Digitized by Google

das Zenith, wird also für jeden Punct der Erdoberfläche durch die Falllinie gegeben, wenn man diese in der Vorstellung bis zum Himmelsgewölbe verlängert. Bekanntlich bildet aber die einen Punct der Erdoberfläche berührende, bis an das Himmelsgewölbe gleichfalls verlängerte Ebene, vermöge der scheinbaren Begrenzung derselben durch das Himmelsgewölbe, den Horizont, worauf das Himmelsgewölbe selbst als eine hohle Halbkugel zu ruhen scheint, und der höchste Punct der letztern ist dann der Scheitel oder das Zenith. Alle Halbkreise, die man aus einem Puncte im Horizonte durch den Scheitel bis wieder zum Horizonte, dann durch den Nadir bis wieder zum Anfangspuncte im Horizonte zieht, also alle durch Zenith und Nadir gelegte gröſste Kreise der hohlen Himmelskugel, heiſsen Scheitelkreise. Hieraus folgt, daſs sie alle auf dem Horizonte senkrecht stehn und diesen in zwei gleiche Hälften theilen; derjenige aber, welcher durch den wahren Morgen- und Abendpunct geht, heiſst der *erste Scheitelkreis* (*Verticalis primarius;* Le premier Vertical; *Prime Vertical*); er schneidet den Mittagskreis in zwei gleiche Hälften und steht auf ihm senkrecht, aber der Mittagskreis selbst ist gleichfalls ein Scheitelkreis. Legt man einen Scheitelkreis durch irgend einen Stern, so dienen die unter diesem bis zum Horizonte befindlichen Theile desselben nach der Kreiseintheilung zur Bestimmung seiner *Höhe,* die auch wohl die Höhe über dem Horizonte genannt wird, die vom Scheitel bis zum Sterne befindlichen Theile aber geben den *Abstand vom Scheitel* oder die *Zenith-Distanz.* Jeder Stern erreicht seine gröſste Höhe, wenn er sich im Mittagskreise befindet.

M.

Scheitellinie.

Verticallinie, lothrechte Linie; *Linea verticalis;* Ligne verticale, Ligne à Plomb; *Vertical Line;* ist die Falllinie der Körper oder diejenige Linie, in welcher die Körper vermöge ihrer Schwere fallen.

M.

Digitized by Google

Schieſspulver.

Pulvis pyrius; Poudre à canon; *Gunpowder.*

Ein inniges Gemenge von Salpeter, Schwefel und Kohle nach einem bestimmten Verhältnisse. Seine Wirksamkeit hängt vorzüglich von der Reinheit des Salpeters, der gröſsern Weichheit und Verbrennlichkeit der Kohle, dem richtigen Verhältnisse und der feinen Mengung der drei Ingredienzien und von der Trockenheit des Pulvers ab. Das gewöhnliche, namentlich in England und Frankreich für das Kriegspulver beobachtete Verhältniſs, nach welchem Salpeter, Kohle und Schwefel gemengt werden, ist das von 75:12,5:12,5; — in Preuſsen ist es: 75:13,5:11,5. Diese Verhältnisse, welche nach mehr als hundertjähriger Erfahrung das wirksamste Pulver liefern, stimmen sehr mit dem überein, welches man durch stöchiometrische Berechnung erhält, von dem Grundsatze ausgehend, daſs ein gutes Schieſspulver 1 Mischungsgewicht Salpeter (= 47,2 Kali + 54 Salpetersäure, = 101,2), 3 Kohle (= 3 . 6 = 18) und 1 Schwefel (= 16) enthalten müsse, was in 100 Theilen Schieſspulver 74,85 Salpeter, 13,31 Kohle und 11,84 Schwefel ausmacht. Bei der vollkommenen Zersetzung eines solchen Schieſspulvers, wie sie bei seiner raschen Verbrennung eintritt, vereinigen sich dann die 3 Mischungsgewichte Kohlenstoff mit den 5 Mischungsgewichten Sauerstoff der Salpetersäure und dem 1 M. G. Sauerstoff des Kali's zu 3 M. Gewichten Kohlensäure, die sich nebst dem aus der Salpetersäure frei werdenden Stickstoff in Gasgestalt entwickelt, während sich der Schwefel mit dem Kalium zu Einfachschwefelkalium vereinigt. Der Schwefel nützt daher vorzüglich dadurch, daſs er die Menge des kohlensauren Gases vermehrt, da ohne ihn das Kalium keinen Sauerstoff an die Kohle abgeben und das Kali von der erzeugten Kohlensäure einen groſsen Theil zurückbehalten würde. Wird die Verbrennung durch Feuchtigkeit, beigemengten Sand u. s. w. verlangsamt, so erfolgt wegen geringerer Temperaturerhöhung die Zersetzung der Salpetersäure unvollständiger und es wird auch Salpetergas und Kohlenoxydgas entwickelt. Bei der vollständigen Verbrennung dagegen liefern nach obiger stöchiometrischer Annahme 100 Theile Schieſspulver 10,35 Theile Stickgas, 48,80 Theile kohlensaures Gas und 40,85 Theile Schwefelkalium. Nach

Digitized by Google

BRIANCHON[1] wiegt 1 Liter Schieſspulver 900 Gramm; dieses liefert also 9.10,35 = 93,15 Gramm Stickgas und 9.48,80 = 439,2 Gramm kohlensaures Gas. Bei 0° Temperatur und 0,76 Meter Luftdruck 1 Liter Stickgas zu 1,2609 Gramm und 1 Liter kohlensaurem Gas zu 1,9844 Gramm angenommen, liefert also 1 Liter Schieſspulver 74 Liter Stickgas und 222 Liter kohlensaures Gas, also zusammen 296 Liter Gas bei 0°. Dieser Berechnung kommen directe Versuche ziemlich nahe. 1 Maſs Schieſspulver giebt nach HAWKSBEE beim Verbrennen 232, nach ROBINS 244 und nach SALUCER 266 Maſs Gas. Auſserdem muſs bei der explodirenden Wirkung des Schieſspulvers noch die hohe Temperatur in Anschlag gebracht werden, welche im Moment der Entzündung nicht bloſs den beiden Gasen eine viel gröſsere Elasticität ertheilt, sondern zugleich das Schwefelkalium in Dampf verwandelt. Nimmt man als das Wahrscheinlichste an, daſs ein Mischungsgewicht Schwefelkalium in Gasgestalt einen eben so groſsen Raum einnimmt, wie 1 M. G. Stickstoff, so würde der Dampf des Schwefelkaliums bei 0° gedacht, gleich dem Stickgas zu 74 Liter anzuschlagen seyn, so daſs aus 1 Liter Schieſspulver im Ganzen 370 Liter Gas bei 0° Temperatur erzeugt würden. Wird endlich die Temperatur des brennenden Schieſspulvers etwa zu 800° C. angeschlagen, wo nach GAY-LÜSSAC's Gesetzen die Elasticität eines Gases 4mal so groſs ist, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schieſspulvers im Moment der Explosion = 4.370 = 1480 Atmosphären. Oder nimmt man gar mit BRIANCHON die Temperatur zu 2400° an, bei welcher die Gase eine zehnfach gröſsere Ausdehnung erreichen, als bei 0°, so wäre die Kraft des Schieſspulvers sogar auf 10.340 = 3400 Atmosphären zu setzen. Jedoch ist theils diese Temperaturannahme ohne Zweifel zu hoch, theils muſs die wirkliche Kraft des Schieſspulvers immer unter der berechneten bleiben, weil die Verbrennung desselben nicht ganz gleichzeitig ist, und daher die ersten Mengen des glühenden Gases sich schon wieder abkühlten, während sich die letzten erzeugen und weil gewöhnlich ein Theil des Pulvers unverbrannt fortgeschleudert wird.

Bei einigen Pulverarten werden die Ingredienzien in etwas abweichenden Verhältnissen gemengt. So ist das in Frank-

---

1 Journal de Physique T. XCV. p. 221.

reich beobachtete Verhältniſs des Salpeters, der Kohle und des Schwefels beim Jagdpulver = 78:12:10 und beim Sprengpulver = 65:15:20. Beim Verbrennen des erstern möchte wegen überwiegenden Salpeters neben dem Schwefelkalium auch schwefelsaures und kohlensaures Kali entstehn, bei der des letztern wird sich neben Stickgas und kohlensaurem Gas auch Kohlenoxydgas entwickeln und statt Einfachschwefelkalium Doppelschwefelkalium gebildet werden; es entwickelt mehr Gas, aber weniger Wärme, als das Kriegspulver.

Die Temperatur, bei welcher die Entzündung des Schieſspulvers erfolgt, ist nach Muncke[1] 300°; wird es einer etwas niedrigern Temperatur von höchstens 287° längere Zeit in einem Löffel dargeboten, so verdampft allmälig der Schwefel und der Rückstand, der sich jetzt ohne Entzündung bis zu 312° erhitzen läſst, trennt sich in schmelzenden Salpeter und sich darüber erhebendes Kohlenpulver, welches sich nur langsam oxydirt.

Nach Muncke läſst sich das Schieſspulver durch rasche Erhitzung ebenso gut in Wasserstoffgas, Stickgas, kohlensaurem Gas, Stickoxydul- und Stickoxydgas, wie in atmosphärischer Luft entzünden; desgleichen wenn es in einer Glasröhre eingepreſst und mit Quecksilber bedeckt ist. Dagegen läſst es sich zwar nach Colin und Taillefer, aber nicht nach Muncke im luftleeren Raume zur Explosion bringen. Nach letzterem erfolgt bei höchstens 1 Linie Differenz des Barometerstandes auch bei sehr rascher und starker Erhitzung keine Explosion, sondern der Schwefel verdampft schnell (wahrscheinlich, weil dessen Siedepunct im luftleeren Raum niedriger liegt, als die Temperatur, bei der die Entzündung des Schieſspulvers erfolgt), und der Rest trennt sich dann auch in schmelzenden Salpeter und aufschwingende Kohle, wie beim langsamen Erhitzen des Schieſspulvers an der freien Luft.

Ueber Schieſspulver aus chlorsaurem Kali ist bereits oben[2] gehandelt. Schieſspulver mit salpetersaurem Natron bereitet, hat nach Proust viel weniger Kraft, als das gewöhnliche und wird auch leichter feucht.

In Nordamerica bedient man sich bisweilen eines *gelben*

1 Ueber das Schieſspulver. Marburg 1817.

2 Art. *Kalium*. Bd. V. S. 841.

Digitized by Google

Schieſspulvers, theils zum Laden der Gewehre, theils bloſs auf die Zündpfanne. Dieses gelbe Schieſspulver ist *Knallpulver*[1], auf einer Eisenplatte mit gröſster Vorsicht bis zum anfangenden Schmelzen, nicht ganz bis zur Explosion erhitzt, dann gepulvert und in gut verschlossenen Flaschen bewahrt. Es verpufft viel schneller als gewöhnliches Pulver, treibt aber die Kugel nur halb so stark, wegen geringerer Gasentwickelung und wird bald feucht[2].

G.

Schlag, elektrischer.

Elektrische Erschütterung; *Explosio electrica, concussio seu commotio electrica;* explosion ou commotion électrique; *electric shock or electric explosion.*

Wenn die beiden Elektricitäten einer geladenen elektrischen Vorrichtung durch eine leitende Verbindung so vereinigt und zur wechselseitigen Ausgleichung gebracht werden, daſs jene Verbindung wenigstens an einer Stelle noch unterbrochen bleibt, so entsteht bei der Entladung oder bei dem Uebergange beider Elektricitäten an dieser Stelle eine starke Explosion, wobei sich ein lebhafter Funke zeigt, und eben diese Explosion heiſst der *elektrische Schlag.* Die Gewalt, das Licht und der Schall sind beim el. Schlage weit stärker als bei dem Funken, welcher aus einem bloſs einfach elektrischen Leiter gezogen wird, und kann wenigstens derselbe in dieser Hinsicht durch die dazu passenden Apparate weit höher gesteigert werden, als letzterer. Geschieht die Entladung durch den lebenden menschlichen Körper, oder einen Theil desselben, so verursacht sie eine plötzliche unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, durch welche sie ihren Weg nimmt und eine eigenthümliche unangenehme Empfindung, die sogenannte el. *Erschütterung.*

Bereits unter dem Artikel: *Batterie, elektrische Flasche, geladene, Funke, elektrischer und Leiter, elektri-*

---

1 S. oben Bd. V. S. 840.

3 Gutrie in Sillim. Amer. Journ. T. XXI. p. 289.

Digitized by Google

sche[1] ist bereits von dem elektrischen Schlage, dem Wesen desselben, den Bedingungen seiner Entstehung, den Gesetzen seiner Abänderungen gehandelt worden, der gegenwärtige Artikel kann also nur als eine Ergänzung vorzüglich in Hinsicht auf jene letztere betrachtet werden.

Will man die beiden Seiten einer geladenen Flasche oder Platte, oder eine Verbindung mehrerer derselben, eine Batterie, durch einen vollkommenen Leiter, z. B. durch einen gewöhnlichen *Auslader*[2], mit einander in Verbindung setzen, so ist es nicht möglich, die beiden Enden des Leiters zugleich in unmittelbare Berührung mit den beiden Seiten der geladenen Vorrichtung zu bringen; denn man muſs doch mit beiden Enden des Ausladers, oder wenn das eine Ende bereits an die eine, z. B. die äuſsere Belegung, gesetzt worden ist, mit dem andern Ende gegen die andere Belegung oder den Leiter, der mit ihr in Verbindung steht, zufahren. Während dieses Hinfahrens findet ein Augenblick statt, in welchem das Ende des Ausladers von der Belegung oder den damit in Verbindung stehenden Leiter (dem Knopfe der Flasche u. s. w.) gerade so weit entfernt ist, als zum Durchbruche des Luftzwischenraumes, zur Entladung und damit zur Entstehung des el. Schlages erforderlich ist, welche Entfernung die *Schlagweite* genannt wird. In diesem Augenblicke erfolgt der Schlag, indem nun beide Elektricitäten, die sich vorher gebunden hatten, durch die leitende Verbindung in Beziehung auf die Richtung, nach welcher sie vorher sich anzogen und wechselseitig gebunden hielten, frei werden und sich in das natürliche Gleichgewicht mit einander zu setzen streben. Die leitende Verbindung ist also im Augenblicke der Entstehung des Schlages noch unterbrochen, weil die Elektricität der einen Belegung, von welcher aus die Ladung erfolgt und an welcher ein Theil der Elektricität frei geblieben und mit freier Spannung nach auſsen begabt ist, die Luft durchbricht und in den Leiter übergeht, worauf ein verhältniſsmäſsiger Theil der Elektr. der andern Belegung gleichfalls nach auſsen thätig wird, und so fort, welche successive Vorgänge sich scheinbar im Augenblicke des

1 S. Bd. 1. Abtheil. 2. S. 945. Bd. IV. S. 354. u. S. 599. Bd. V S. 156.

2 Vergl. Bd. I. S. 643.

Digitized by Google

Entladung und des el. Schlages zusammendrängen. War die leitende Verbindung an mehrern Stellen unterbrochen, so ist der Erfolg dieser, daſs bei jeder Unterbrechung ein Schlag entsteht, nur müssen, wie kaum zu erinnern nöthig ist, die Theile der Verbindung so nahe an einander seyn, daſs wirklich ein Durchbruch der Elektricitäten durch das nicht leitende Zwischenmittel erfolgen kann. Daher kommt es, daſs im Dunkeln die Glieder einer Kette, welche einen Theil der leitenden Verbindung ausmacht, leuchten, daſs, wenn in die leitende Verbindung Körper gebracht werden, die schlecht leiten und deren Structur faſericht ist, wie z. B. ein Ei oder selbst eine Reihe von mehrern Eiern, die sich berühren, eine elfenbeinerne Kugel, eine Citrone, ein Apfel, eine kleine Melone, durch einen Schlag, den man durch sie gehn läſst, indem man in letztern von beiden Seiten die Drähte des allgemeinen Ausladers hineinsteckt, durch die vielen Funken zwischen den Theilen derselben im Dunkeln leuchtend und durchsichtig scheinen; das Getöse aber, welches man oft bei Schlägen durch eine vielfach unterbrochene Verbindung hört, gleicht bisweilen einer Menge nach einander folgender Laute oder einem Rasseln, wie beim Blitzschlage im Groſsen.

Die *Schlagweite* selbst, in welcher die Entladung und damit der elektrische Schlag zu Stande kommt, kann im Allgemeinen durch die Formel $\frac{T}{L}$ ausgedrückt werden, wo T die freie Spannung derjenigen Belegung, von welcher die Ladung ausgegangen ist, also bei der gewöhnlichen Art zu laden die freie positive Spannung der innern Belegung, und L den Leitungswiderstand in der ganzen Strecke der leitenden Verbindung von einer Belegung zur andern bezeichnet. Es ist eine irrige Ansicht, wenn man sich vorstellt, daſs, weil sich die beiden Elektricitäten eines geladenen el. Körpers binden, der Wirkungskreis von keiner derselben so weit gehn könne, als bei der einfachen Elektricität eines isolirten Leiters, und daher die Schlagweite eines geladenen Körpers immer nur geringer und die Flecken weit kürzer, als die eines gewöhnlichen elektrisirten Leiters seyen. Die Elektricitäten, sofern sie sich wechselseitig binden und so lange sie sich binden, haben überall keinen Antheil an dem ersten Ausbruche der Explosion, die lediglich durch die freie Spannung der El. an der einen

Belegung bestimmt wird. Mit dieser freien Spannung nimmt auch bei sonst unveränderten Umständen in dem Verbindungskreise die Schlagweite zu, und wenn man das Verhältniſs der Kugeln, in welche sich der Zuleiter zur innern Belegung endigt, zu der Kugel des Ausladers, der mit der äuſsern Belegung in Verbindung steht, der Gröſse nach eben so günstig macht, wie bei den Funkenziehern, wenn sie aus isolirten Leitern die längsten Funken hervorlocken sollen, so kann man auch einen sehr langen Entladungsschlag hervorlocken. Auch durchbricht der Funken in dem Verhältnisse eine längere Luſtschicht, in welchem der Widerstand auf dem übrigen Wege von einer Belegung zur andern geringer ist, wie denn oft bei der Selbstentladung sehr lange Funken von dem Knopfe der Flasche bis durch den ganzen Luftzwischenraum und längs der mehrere Zolle in der Länge betragenden unbelegten Glasfläche auſsen herabfahren. Ebenso kann man den Entladungsfunken sehr verlängern, wenn man zwischen den Knopf der Flasche und die Kugel des Ausladers ein Lichtflamme bringt. Wenn dagegen der Widerstand auf dem Wege von einer Belegung zur andern, z. B. durch häufige Unterbrechung, sehr groſs ist, so findet sogar keine Entladung statt, auch wenn das eine Ende des Ausladers in unmittelbare Berührung mit dem Knopfe der Flasche gebracht wird, während das andere Ende nur in unvollkommene, leitende Verbindung mit der andern Belegung steht.

Der elektrische Schlag durchläuft die ausgedehntesten Verbindungsstrecken dem Scheine nach in einem Augenblicke. Die Versuche, aus welchen dieses Resultat hervorgeht, findet man unter dem Artikel: *Flasche*, *geladene*[1]. Indessen kann man die Entladung doch im strengern Sinne des Worts keine instantane nennen und durch gewisse Abänderungen in dem Verbindungskreise kann man die Entladung gleichsam für die Beobachtung retardiren und damit ihre Wirkungen modificiren. Dieses zeigen am deutlichsten die Versuche über die Entzündung des Schieſspulvers, die man am sichersten bewirkt, wenn man den Entladungsschlag vermittelst Einbringens einer naſsgemachten Schnur oder einer mit Wasser gefüllten Glasröhre retardirt[2]. Ein Gleiches deuten jene Versuche an, in de-

1 S. Bd. IV. S. 387.

2 Vergl. Bd. IV. S. 393. Bd. VI. S. 178.

Digitized by Google

nen mit Waſser gefüllte Glasröhren mit der gröſsten Heftigkeit zersprengt wurden, wenn die Drähte, die den Schlag durch das Waſser leiteten, nur in einer geringen Entfernung von einander sich befanden, die unversehrt blieben, wenn die Drähte weiter von einander entfernt wurden[1]. Beccaria lieſs einen Schlag durch einen Tropfen Waſser gehn, der sich in der Mitte einer *soliden* Glaskugel von zwei Zoll Durchmeſser zwischen zwei Drahtspitzen befand und die Kugel wurde mit groſser Heftigkeit zerschmettert.

Werden den beiden Seiten einer geladenen Vorrichtung mehrere leitende Verbindungen dargeboten, so nimmt der Schlag seinen Weg durch diejenige, in der er den geringsten Leitungswiderstand findet. Dieser Widerstand hängt nicht allein von der Länge des Weges, mit welcher er unter sonst gleichen Umständen allerdings in geradem Verhältniſse wächst, sondern auch von der besondern Beschaffenheit der Leiter, ihrem Umfange, der Art ihrer Verbindung mit einander u. s. w. ab, wofür die Gesetze im Artikel *Leiter* bereits ausführlich angegeben sind. Daher nimmt der Schlag nicht allemal den kürzesten Weg, sondern zieht den längern vor, wenn auf diesem eine Verbindung beſserer Leiter sich darbietet. Nimmt man z. B. eine Kette in beide Hände und setzt die geladene Flasche so, daſs die äuſsere Belegung und der Knopf von den Händen und der Kette zugleich berührt werden, so geht der Schlag fast ausschlieſsend durch die Person, wenn die Kette schlaff hängt, dagegen fühlt die Person nach Maſsgabe der Stärke der Ladung nichts oder nur höchst wenig, wenn die Kette straff angezogen wird, weil alsdann die genauere Berührung ihrer Gelenke eine weit vollkommener leitende Verbindung begründet. Nimmt man auſser der Kette noch einen Draht in die Hände, so ist man noch vollkommener gegen jede Erschütterung gesichert. Doch muſs bei Entladung groſser Batterieen ein solcher Draht eine verhältniſsmäſsige Dicke haben, damit der Theil, welchen der menschliche Körper als Leiter übernimmt, ein verschwindender werde, indem derselbe sich nach dem Verhältniſse seines Leitungsvermögens gegen dasjenige des Drahts richtet. Der Widerstand auf dem Verbindungswege zwischen den beiden Belegungen ist überhaupt an denjenigen Stellen

1 G. XXIV. 337.

gröſser, wo die Leiter, welche den Uebergang vermitteln, einander nicht genau berühren, und noch gröſser, wenn der Uebergang durch Leiter von verschiedener Beschaffenheit geschieht und die Elektricität aus einem vollkommneren Leiter in einen schlechtern überzugehn gezwungen ist. Wird der Uebergang z. B. nur ein wenig durch Wasser unterbrochen, obwohl dieses auch ein Leiter ist, so schlägt beim Ausladen ein Funken in dasselbe über und die Gewalt einer Batterieentladung ist dann so heftig, daſs die stärksten Glasgefäſse dadurch zersprengt werden können, selbst wenn das Wasser an der einen Seite einen freien Ausgang hat. Ueberhaupt findet alles dasjenige, was unter dem Artikel *Blitz* über dessen Bahn gesagt worden ist, hier seine Anwendung.

Die *Stärke* oder *Gewalt* des Schlages richtet sich sowohl nach der Quantität von Elektricität, welche bei der Entladung frei gemacht wird, als auch nach der Intensität oder Spannung, welche die El. im Augenblicke der Entladung hat. Im Artikel: *Flasche, geladene,* ist näher auseinandergesetzt worden, daſs die Quantität in einem sehr zusammengesetzten Verhältnisse steht, indem solche von der Gröſse der geladenen Oberfläche, der Dicke des Glases der geladenen Flasche oder Platte, und von der Intensität der Ladung zugleich abhängt. Bei gleicher Intensität der Ladung und Dicke des Glases steht ohne Zweifel die Quantität der Elektricität in geradem Verhältnisse mit der Gröſse der belegten Oberfläche, sofern diese in der Art ihrer Ausdehnung übereinstimmt. Bei Verbindung von mehrern Flaschen von derselben Gestalt und gleicher Glasdicke nimmt also die Quantität der El., wenn jedesmal bis zu derselben Spannung geladen wird, mit der Zahl der Flaschen in ganz geradem, einfachem Verhältnisse zu, doch folgt hieraus nicht, daſs auch die davon abhängigen Wirkungen, wie z. B. Wärmeerzeugung, Schmelzen von Metalldrähten, in gleichem Verhältnisse zunehmen, weil dabei noch andere Factoren mitwirken.

Was den Einfluſs der Dicke des belegten Glases betrifft, so ist unter dem Artikel: *Flasche, geladene,* bemerkt worden, daſs nach den Versuchen von Cavendish bei gleicher Gröſse der Belegung und gleicher Spannung die Quantität der Elektricität im umgekehrten Verhältnisse der Dicke des Glases zu stehn scheint, ein Verhältniſs, das jedoch durch das Geset-

Digitized by Google

der Abnahme der anziehenden und repulsiven Wirkung der El. nach dem Quadrate der Entfernung eine Modification erfahren dürfte.

Was endlich die Intensität betrifft, so steht diese bei gleicher Dicke, Gröſse und Gestalt der belegten Oberfläche in geradem Verhältnisse der Dicke der el. Schichte und also der Quantität, und ist demnach ein Elektrometer gehörig regulirt worden, so kann man rückwärts aus der Gröſse der Intensität stets auch wieder einen Schluſs auf die Quantität machen.

Nach diesen vorläufigen allgemeinen Bemerkungen wollen wir nun die wichtigsten Erscheinungen, die den el. Schlag begleiten, so weit sie noch nicht an andern Orten in Betracht gezogen sind, so wie die davon abhängigen Wirkungen angeben.

Was zuerst die Stärke des Knalles des el. Schlages betrifft, so nimmt derselbe mit der Quantität und Intensität der Elektricität, sowie mit der Begünstigung der Leitung in dem übrigen Verbindungskreise, durch welchen sich die El. nach geschehenem Durchbruche zu bewegen hat, zu. Je dicker der Funke ist, und diese Dicke hängt wesentlich von der Quantität der sich entladenden El. ab, und je schneller er übergeht, um so heftiger ist der Knall, und bei groſsen Batterieen gleicht er bereits dem Knalle einer Pistole. Ein Liebhaber der Physik hat eine besondere Art der Entladung angegeben, wodurch der Knall des Schlages bis zur Stärke einer losgeschossenen Flinte gesteigert wird[1]. Man nimmt 4 bis 6 Platten von sehr dünnem Theeblei, am besten 5 Zoll ins Gevierte, schiebt sie in Falze in einem dazu verfertigten hölzernen Troge, die beiden mittelsten in einer Entfernung von 3 bis 5 Zoll, die übrigen 8 bis 10 Linien von einander. Die äuſsern verbindet man durch sehr feine Bleistreifen, welche man in der Mitte der Platten mit Wachs fest klebt; sie müssen so schmal seyn, daſs die Batterie sie zu zerstieben vermag, die beiden innersten ebenso durch Stahldraht, der so stark seyn muſs, daſs er nur in Kugeln schmilzt. Die Kügelchen des geschmolzenen Eisendrahts werden rings umher geschleudert und durchbohren die beiden innern Platten gleich Sieben. Der Dampf, in welchen das Blei zerstiebt, scheint hierbei mit zur Verstärkung der

1 G. XXIV. 343.

Explosion beizutragen. Der Knall des el. Schlages wird auch sehr verstärkt, wenn er über der Oberfläche des Wassers und anderer leitender Flüssigkeiten hinfährt. Wird die Explosion retardirt, wie bei der Entzündung des Schieſspulvers, wenn man den Schlag durch eine Wassersäule gehn läſst, so ist der Knall mehr dumpf. Wie beim Blitze scheint die schnelle Zusammendrückung der im Wege befindlichen Luft durch den durchbrechenden Funken und das schnelle Nachdringen der umgebenden Luft in den entstandenen leeren Raum als die eigentliche Ursache dieses Knalles zu wirken. Beim Hinfahren über die Oberfläche des Wassers scheint die Verstärkung von der Erschütterung desselben mit abzuhängen.

Von der groſsen mechanischen Gewalt, welche der el. Schlag ausübt, haben wir oben[1] ein auffallendes Beispiel an jenem Buchsbaumcylinder gegeben, der durch den Schlag einer Batterie in einer solchen Ausdehnung zerrissen wurde, daſs man die zur Ueberwindung der Cohäsion erforderliche mechanische Kraft des Schlages auf 10040 Pfund berechnen konnte, und doch war es nur der Schlag der Taylorschen Batterie von 225 Quadratfuſs Belegung. Sehr dicke Glasplatten werden durch den el. Schlag zersprengt, wenn man dieselben unter die Presse des allgemeinen Ausladers bringt, an ihrer untern Fläche einen schmalen Streif von Blattgold oder Blattsilber aufklebt und mit dem Ende desselben die Drähte des allgemeinen Ausladers in Verbindung bringt. Wie dicke Glasröhren gesprengt werden können, wenn man den Schlag durch eine kleine Wassersäule gehn läſst, ist schon oben bemerkt worden. Durch wiederholte Explosionen einer Batterie von 50 Quadratfuſs Oberfläche hat man Röhren von verschiedenen Metallen, selbst von Stahl, Bronze und Kupfer, von einer Dicke der Wände von mehrern Linien, die im Lichten von einigen Linien bis anderthalb Zoll variirten, dadurch zerrissen, daſs man sie mit Wasser füllte und durch einen sehr dünnen Bleidraht, der an einer Nadel aufgehängt war, die Explosion gehn lieſs, wodurch derselbe nicht bloſs geschmolzen, sondern in Dampf verwandelt wurde, der durch augenblickliche Zusammendrückung des Wassers jene Gewalt auf die Wände ausübte.

1 S. *Batterie, el.* Bd. I. S. 948.
2 G. XXIV. 344.

Der el. Schlag äuſsert stets da die gröſste Gewalt, wo er auf seinem Wege den meisten Widerstand findet, also bei seinem Durchgange durch unvollkommene Leiter oder Isolatoren und bei seinem Uebergange auf dieselben, wenn diese nicht etwa einen so groſsen Widerstand entgegensetzen, daſs die Entladung gänzlich dadurch gehindert wird. Der Schlag zerschlägt diese Körper, die ihn auf seinem Wege unterbrechen und zerstreut ihre Stücke bisweilen nach allen Richtungen und auf eine solche Art, als ob die Kraft aus dem Mittelpuncte eines jeden dazwischen gesetzten Körpers gekommen wäre. Dieses ist besonders auffallend bei einem Spiele Karten, durch welches man starke Schläge gehn läſst, wo alle Karten durchbohrt werden, das Loch in jeder Karte aber auf beiden Seiten einen erhabenen Wulst hat, gerade so als ob sich die Explosion aus dem Innern eines jeden Blattes nach allen Richtungen verbreitete. Eben so augenscheinlich ist diese Art der Wirkung bei der Selbstentladung einer überladenen Flasche durch die Glaswandung selbst, wo sich in der Mitte der Glasdicke ein ziemlich feines Loch zeigt, von welchem aus trichterförmig nach beiden Seiten sich erweiternd das Glas gleichsam zerrieben und zermalmt ist; doch in keinem gröſsern Umfange als etwa einer bis höchstens zwei Linien im Durchmesser. Singer meint, die unmittelbare Folge des Durchganges einer el. Entladung durch eine Substanz bestehe in einer Ausdehnung oder Entfernung der direct in ihrem Wege befindlichen Partikelchen und in einer daraus folgenden Zusammendrückung derer, die sie umgeben, so daſs gewöhnlich das Resultat einer elektrischen Explosion der Wirkung einer ausdehnenden Kraft gleiche. Indeſs scheint es nicht nothwendig zu seyn, eine solche Ausdehnung der Theilchen der Körper selbst anzunehmen, abgesehn von derjenigen, welche von der Elektricität abhängt, sofern sie Wärme erzeugt, sondern die mechanischen Wirkungen einer Explosion lassen sich vielleicht besser begreifen, wenn man die eigene Repulsivkraft der Elektricität als die nächste Ursache ansieht, vermöge welcher die derselben im Wege stehenden Theilchen der Körper nach allen Seiten fortgestoſsen werden. Man wird selbst geneigt anzunehmen, daſs hierbei die Elektricität selbst in Masse auftritt, wenn man den beengten Weg des el. Funkens berücksichtigt, und wie unbedeutend diese Masse auch

Digitized by Google

seyn mag, so lassen sich die groſsen mechanischen Wirkungen dennoch durch die auſserordentliche Geschwindigkeit der Bewegung füglich erklären.

Die chemischen Wirkungen des elektr. Schlages werden theils durch die Beschaffenheit der Körper, ob sie mehr oder weniger vollkommene Leiter, Halbleiter oder Isolatoren sind, theils vorzüglich durch ihre chemische Natur mannichfaltig modificirt, haben aber im Ganzen ein gröſseres Interesse für die Chemie als für die Physik.

Ein starker Schlag, durch einen dünnen Streifen Metall oder einen feinen Metalldraht geleitet, macht denselben augenblicklich glühend, oder schmelzt ihn gar, und verwandelt ihn in gröſsere oder kleinere Kügelchen, die nach allen Seiten zerstreut werden oder zerstreut das Metall gänzlich als einen Rauch. Der jedesmalige Erfolg hängt theils von der Beschaffenheit des Metalls, der Länge und Dicke des Drahtes, theils von der Stärke des Entladungsschlages ab. Man spannt, um solche Versuche anzustellen, die Metalldrähte zwischen die beiden Drähte des allgemeinen Ausladers[1], die zu diesem Behuf an ihren Enden mit Löchern versehen sind, durch welche man die Drähte hindurchzieht und sie mittelst dieser Drähte, die in ihren Hülsen verschoben werden können, anspannt. Aus der ersten Reihe von Versuchen, welche van Marum mit einer Batterie von 225 Quadratfuſs Belegung anstellte[2], folgte schon, daſs sich die Schmelzbarkeit der Metalle durch die Elektricität gar nicht wie die Schmelzbarkeit derselben durch das gewöhnliche Feuer verhalte, indem sie vielmehr von ihrem verschiedenen Leitungsvermögen für Elektricität abhängt, nach welchem sich die Hitze richtet, welche beim Durchgange des Schlags durch dieselben erzeugt wird. Je geringer dieses Leitungsvermögen, oder je gröſser der Leitungswiderstand, um so gröſser ist diese Hitze und um so schmelzbarer erscheint also das Metall bei sonst gleichen Umständen der Länge und des Durchmessers der Drähte. Die ausführlichere Erörterung dieses Verhältnisses findet sich bereits unter dem Artikel *Leiter*[3]. Die Verhältnisse der Längen von verschiedenen Metalldrähten von gleichem Durchmesser, welche

1 Vergl. Bd. I. S. 645.

2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 16.

3 S. Bd. VI. S. 157 bis 162.

durch gleiche Schläge der Batterie geſchmolzen wurden, werden durch nachfolgende Zahlen angegeben:

Zinn	Blei	Gold	Eiſen	Meſſing	Kupfer	Silber
12,00	11,96	44,82	40,54	40,87	14,88	11,62.

Von dieſen Metallen konnten Eiſen, Zinn und Kupfer zu Kügelchen geſchmolzen werden, die auf 30 Fuſs und darüber zerſtreut wurden und die Zinnkügelchen erhielten ſich 8 bis 10 Secunden lang rothglühend. Am weiteſten ſind wohl dieſe Schmelzverſuche der Metalle in einer zweiten Reihe von Verſuchen durch van Marum mit ſeiner Rieſenbatterie von 550 Quadratfuſs Belegung getrieben worden[1]. Während die Batterie von 225 Quadratfuſs Belegung, nach Broocks Elektrometer mit 24½ Gran geladen, durch die Entladung 10 Zoll Eiſendraht No. 1. von $\frac{1}{20}$ Zoll Durchmeſſer ſchmolz und die glühenden Kügelchen weit umher zerſtreute, ſchmolz die Batterie von 550 Quadratfuſs Belegung bis zu derſelben Spannung geladen 24½ Zoll eben dieſes Drahtes in eben ſolche Kügelchen. Als dieſelbe Ladung von 24½ Gr. auf 36 Zoll dieſes Drahtes verſucht wurde, ſo erglühte er in ſeiner ganzen Länge, wobei die Hälfte deſſelben ganz blau wurde, der übrige Theil an ſeiner Oberfläche ſchwach oxydirt zu ſeyn ſchien. Zugleich war der Draht in ſeiner ganzen Länge mit einem auch am hellen Tage lebhaftem Lichte umgeben, das in der Dunkelheit mehr als einen Zoll im Durchmeſſer zu haben ſchien.

Vom Eiſendraht No. 16, welcher $\frac{1}{240}$ Zoll im Durchmeſſer hat, wurden durch dieſelbe Ladung ſogar 104 Fuſs in unzählige glühende Kügelchen verwandelt und weit umher zerſtreut. Von Eiſendraht No. 11, von der Dicke von $\frac{1}{150}$ Zoll wurden ſehr leicht 60 Fuſs durch eine Ladung von 24 Gr. geſchmolzen.

Nach van Marums Verſuchen würde die Länge der geſchmolzenen Drähte im geraden Verhältniſſe mit der Menge der ſich durch den Draht entladenden Elektricität zunehmen, wenn die Intenſität der Ladung unverändert bleibt, ſo daſs alſo zwei Flaſchen von gleicher Oberfläche, bis zu gleicher Spannung geladen, eine doppelt ſo groſse Länge von dem-

1 Seconde Continuation etc. Haarlem 1795. p. 194. und daraus in G. I. 68.

Digitized by Google

selben Drahte schmelzen sollen, als eine Flasche, und sofort im geraden einfachen Verhältnisse mit der Zahl der Flaschen, oder mit der Gröſse der Belegung.

Diesem Resultate widersprechen Cuthbertsons Versuche[1], so wie auch diejenigen von G. J. Singer[2]. Um die Intensität der Ladung genau bestimmen und sich von der vollkommenen Gleichheit derselben im Augenblicke der Entladung in den verschiedenen Versuchen überzeugen zu können, hat Cuthbertson ein eigenes *Ausladeelektrometer* oder *Balancirelektrometer* erfunden, das nach dem Principe des Elektrometers von Broock[3] eingerichtet ist, bei welchem eine mit ungleichem Gewichte sich herabsenkende Kugel durch die Elektricität der inneren Belegung bei einem hinlänglichen, aber wenn das aufgelegte Gewicht nicht verändert wird, bei einem stets gleichen Grade der Spannung so weit abgestoſsen wird, daſs eine Kugel am entgegengesetzten Hebelarme auf einen Pfeiler herabsinkt, und hierdurch die Verbindung mit der äuſsern Belegung herstellt.

In den Versuchen, welche Cuthbertson über das Schmelzen der Drähte anstellte, wurden diese Drähte vermittelst kleiner Zangen zwischen diese Säule und den Leiter nach der äuſsern Belegung in den Strom der El. gebracht, wobei also die Spannungen oder die Stärke der Ladungen für zusammengehörige Versuche einander genau gleich oder unter sich vergleichbar waren. Aus solchen Versuchen glaubte Cuthbertson den Schluſs ziehn zu können, daſs die schmelzende Wirkung auf Metalldrähte wie das *Quadrat der Quantität* der El. wachse, die sich auf einmal hiedurch entladet, indem zwei Flaschen zu irgend einem Grade geladen, einen Draht schmelzen, der viermal länger war als der, den eine von ihnen schmolz, und eben so wurde diese Wirkung vervierfacht, als er einer Flasche die doppelte Ladung gab, welche Versuche zugleich zeigten, daſs irgend eine gegebene Quantität der El. eine und dieselbe Drahtlänge schmelzt, sie mag auf zwei oder nur auf einer Flasche gesammelt seyn, die nicht gröſser als

---

1 G. III. 1.

2 Elemente der Elektricität und Elektrochemie übers. von Müller. Breslau 1819. S. 115. fg.

3 Vergl. *Elektrometer* Bd. III. S. 675.

jede der ersten ist. Cuthbertson stellte diese Versuche so an, daſs er z. B. erst zwei Flaschen von gleicher Oberfläche, jede von 168 Quadratzoll, mit dem Elektrometer, das mit 15 Grammen beschwert war, in Verbindung setzte, und da die Kugel H anfing, sich abwärts zu bewegen, die eine Flasche schnell entfernte. So konnte sich nur die eine Flasche entladen, welche genau zwei Zoll Draht schmolz, von welchem beide Flaschen unter denselben Umständen acht Zoll schmolzen. In diesem Versuche hatte Cuthbertson feinen Uhrfederndraht angewandt. Da er bei Wiederholung derselben keine ganz übereinstimmende Resultate erhielt und den Grund davon in dem Ausströmen der El. aus den scharfen Rändern der platten Drähte suchte, wie sie zu den Federn, welche die Unruhe in den Uhren treiben, gebraucht werden, so unterwarf er gewöhnliche Stahldrähte diesen Versuchen. Von einem solchen, dessen Durchmesser $\frac{1}{130}$ Zoll betrug, wurden durch drei der obigen Flaschen 6 Zoll geschmolzen, dagegen von 2 nur zwei Zoll. Vier Flaschen schmolzen 8 und 8½ Zoll, 9 Z. vermochte derselbe Schlag nur in ihrer ganzen Länge rothglühend zu machen. Vierzehn gleiche Flaschen schmolzen von einem Drahte von $\frac{1}{100}$ Zoll 8 Zoll, sieben derselben nur zwei Zoll. Ueber den Einfluſs der verschiedenen Spannung bei gleicher Oberfläche stellte Cuthbertson nur zwei Versuche an. Eine Flasche wie die obige, die bei einer Belastung des Elektrometers mit 15 Gr. sich entlud, schmolz 2 Zoll Uhrfederndraht, bei einer Belastung von 30 Gr. schmolz sie dagegen 8 Zoll desselben Drahtes. In Rücksicht auf die Abweichung dieser Resultate von denen van Marum's bemerkt Cuthbertson, daſs letzterer zu seiner irrigen Folgerung dadurch verleitet wurde, daſs theils sein Ausladeelektrometer, das er bei jenen Versuchen gebrauchte, nicht die erforderliche Genauigkeit besessen, theils dadurch, daſs van Marum nicht die sorgfältigste Rücksicht auf Gleichheit der Effecte genommen habe, in welcher Hinsicht eben eintretendes vollständiges Schmelzen den angemessensten Vergleichungspunct abgebe. In Rücksicht auf jene durch Cuthbertson's Versuche ausgemittelte Gesetze macht Biot[1] folgende Bemerkungen.

---

1 Lehrbuch der Experimentalphysik, übers. von Fechner. 1829. II. Bd. S. 268.

Digitized by Google

Zuvörderst könne es auffallend erscheinen, daſs es gleichgültig für die Wirkung auf den Draht sey, ob dieselbe Quantität der El. sich auf der einfachen oder doppelten Fläche angehäuft findet, da sie doch im ersten Falle eine doppelt so groſse Intensität hat, oder eine Schichte von der doppelten Dicke bildet. Allein man muſs erwägen, daſs beim Durchgange durch den Draht sich beide (gleiche) Quantitäten El., sowohl die auf der einfachen, als auch auf der doppelten Fläche angesammelte, zu einer *gleichen Intensität* concentriren, mithin, sofern die Wirkung von der Intensität abhängt, auch gleiche Wirkung äuſsern müssen. Daſs aber die Wirkung auf den Draht nicht im einfachen, sondern im quadratischen Verhältnisse dieser Intensität wächst, läſst sich sehr leicht unter der Voraussetzung begreifen, daſs die El. eine Flüssigkeit ist, deren Wirkung bei ihrer Bewegung im zusammengesetzten Verhältnisse ihrer Masse und Geschwindigkeit steht. Da nun eine El. von der doppelten Intensität wegen verdoppelter Repulsivkraft zwischen ihren Theilchen auch von selbst eine doppelte Geschwindigkeit erlangen muſs, so erklärt sich hieraus jenes quadratische Verhältniſs von selbst.

Daſs dieses quadratische Verhältniſs für gröſsere Drahtlängen, wie Singer gefunden hat, nicht mehr genau zutrifft, findet darin seine Erklärung, daſs die Drähte der Elektr. bei ihrem Durchgange einen Widerstand entgegensetzen, der mit der Länge der Drähte zunimmt. Dieser Widerstand, der bei geringen Drahtlängen gegen eine starke Ladung nicht sehr in Betracht zu kommen scheint, kann doch seinen Einfluſs sehr merklich ändern, wenn diese Längen zunehmen und dadurch jenes genaue Verhältniſs beeinträchtigen.

Gegen die erstere Behauptung müssen wir jedoch erinnern, daſs die Menge der sich entladenden Elektricität nicht auf einmal in dem Drahte enthalten ist, und sich also auch nicht bei doppelter Quantität zu einer doppelten Intensität concentriren kann, indem jede Entladung als ein successiver Proceſs zu betrachten ist, in welchem die Intensität der sich in solchen Metalldrähten ausgleichenden El. wesentlich von ihrer ursprünglichen Intensität abhängt, und wir zweifeln daher, daſs sich das Gesetz, daſs sich die Länge des geschmolzenen Drahtes bei gleicher Intensität wie das Quadrat der Belegung verhalte, bei mannichfaltig abgeänderten Versuchen bestätigen

werde. Sind die Metalldrähte, durch welche man den elektr. Schlag durchleitet, ſchlaff, ſo werden ſie dadurch, wenn die Hitze nicht bis zum Schmelzen geht, in die Dicke ausgedehnt und dabei verkürzt. So verkürzte van Marum einen Eiſendraht von 18 Zoll Länge und $\frac{1}{33}$ Zoll Dicke um mehr als $\frac{1}{4}$ Zoll, indem er nur einen einzigen Schlag hindurch leitete. Aehnliche Reſultate erhielt Nairne[1]. Dagegen findet man, daſs durch Gewichte geſpannte Drähte durch den el. Schlag ſich vielmehr verlängern.

Eine intereſſante Beobachtung van Marum's bei dieſen Verſuchen über Glühen und Schmelzen von Eiſendrähten iſt, daſs wenn, wie ſich dieſes öfters ereignet, nur ein Theil derſelben geſchmolzen wird, dieſes nur mit demjenigen Theile geſchieht, der mit den innern (poſitiven) Belegen der Batterie in Verbindung ſteht, während der nach dem negativen Belege hingerichtete ungeſchmolzen bleibt.

Dieſe Erfahrung ſchlieſst ſich unmittelbar an eine bereits erwähnte[2] an, welcher zufolge der poſitive Pol einer Volta'ſchen Säule in Flüſſigkeiten auf ſeiner Seite eine gröſsere Erhöhung der Temperatur hervorbringt, als der negative Pol auf ſeiner Seite, zum Beweiſe, daſs in den oben angeführten Verſuchen van Marum's es nicht etwa die freie Spannung auf der innern Belegung war, welche der poſitiven El. das Uebergewicht in der Wärmeerzeugung ertheilte.

Wird das Metall, durch welches man den Schlag durchgehn laſſen will, als Streifen oder Draht zwiſchen zwei Glasplatten eingeſchloſſen, ſo treibt der Schlag das geſchmolzene Metall in das Glas und vereinigt es ſo feſt mit demſelben, daſs man es nachher nicht wieder davon abtrennen kann, ohne einen Theil des Glaſes mit hinwegzunehmen. Auf dieſe Weiſe laſſen ſich Streifen von Blattgold mit ſchöner Purpurfarbe in Glas einſchmelzen, wenn man die Glasſtreifen, zwiſchen welchen ſich daſſelbe befindet, unter die Preſſe des allgemeinen Ausladers bringt. Doch zerſpringen dieſelben auch leicht, wenn der Schlag zu ſtark oder der Streifen Gold zu ſchmal iſt, und alſo eine zu unvollkommene Leitung gewährt.

Sind die nöthigen Bedingungen zur Oxydation vorhanden

1 Lichtenbergs Magazin I. 2tes St. S. 22.
2 S. Art. *Galvanismus* Bd. IV. S. 930 u. 931.

und hat der elektrische Schlag eine hinlängliche Stärke, so ist mit der Schmelzung des Metalls häufig auch Oxydation verbunden, und sehr dünne Drähte verwandeln sich auch gänzlich in Oxyd. Um die Verschluckung des Sauerstoffs hierbei augenscheinlich zu machen, kann man den Versuch so anstellen, daſs man die Metalldrähte in einen Glascylinder zwischen zwei Haken ausspannt. Wenn dieser Cylinder dann mit einem Hahn versehn ist, so kann man ihn mit einer beliebigen Gasart über der Wasser- oder Quecksilberwanne füllen. Bei geschlossenem Hahn läſst man die Explosion durchgehn, und öffnet ihn nach derselben über Wasser oder Quecksilber, um die statt gehabte Luft-Absorption zu untersuchen. Cuthbertson[1] hat seinen Glasrecipienten mit helmförmigen Röhren, wovon die eine Wasser, die andere Quecksilber enthielt, versehn, die gleichsam als Waage dienten. Durch einen Hahn waren sie vom Recipienten abgeschlossen. Nach geschehener Explosion wurde der Hahn geöffnet, und aus dem Steigen des Wassers oder Quecksilbers in dem Schenkel, der sich nach dem Innern des Recipienten öffnete, sowie aus der Höhe dieses Steigens die stattgehabte Absorption und der Grad derselben erkannt. Versuche dieser Art haben vorzüglich Deimann und Paets van Troostwyck[2] gemeinschaftlich und Cuthbertson[3] angestellt. Van Marum wollten sie in solchen Röhren nicht gelingen, da ihm dieselben stets zersprangen. In Rücksicht auf die edlen Metalle stimmen die Resultate der beiderseitigen Versuche nicht ganz überein. Nach den ersteren wurden Drähte von Gold, Platin und Silber dem Schlage einer starken Batterie von 135 Quadratfuſs Belegung auch im reinen Sauerstoffgase ausgesetzt, zwar in einen Dunst verwandelt, und der feine Staub, zu welchem sich derselbe verdichtete, hatte zwar alles metallische Ansehn verloren, der des Goldes erschien purpurfarben, der des Platin's lichtbraun, der des Silbers dunkelgrün oder olivenfarbig, es fand aber keine Spur von Luftverschluckung statt, und die ganze Veränderung bestand demnach bloſs in einer höchst feinen Zer-

1 G. XI. 400.

2 Beschreibung einer Elektrisirmaschine u. s. w. Aus dem Holländischen. Leipzig 1790.

3 A. a. O.

theilung dieſer edlen Metalle. Vermittelſt ſeiner Rieſenbatterie verwandelte van Marum einen Platindraht von $\frac{1}{75}$ Zoll Dicke in einen ſehr feinen Staub, welcher ähnliche Zeichnungen auf dem Papiere, wie Eiſen bildete, und dem Eiſenkalke ganz ähnlich war[1]. Vermittelſt einer Batterie von bloſs 34 Quadratfuſs Belegung wollte Cuthbertson eine wirkliche Oxydation dieſer Metalle erhalten haben. Feiner Silberdraht von $\frac{1}{130}$ Zoll Durchmeſser brannte mit einer grünlichen Flamme und zerſtiebte in einen ſchwarzen, unfühlbaren Staub. Golddraht von $\frac{1}{123}$ Zoll Durchmeſser zerſtiebte in einen unfühlbaren Staub von dunkelbrauner Purpurfarbe, Platindraht endlich von $\frac{1}{130}$ Zoll Durchmeſser in einen unfühlbaren ſchwarzen Staub; da jedoch in allen drei Verſuchen das Queckſilber im andern Schenkel der Heberröhre nur wenig ſtieg, ſo möchte ich vermuthen, daſs die Metalle nicht in ihrer gröſsten Reinheit angewandt worden waren und daſs die geringe Luftabſorption von dem beigemiſchten edlen Metalle herrührte. Vom Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer und Zink iſt es durch die Verſuche obengenannter Phyſiker auſser allen Zweifel geſetzt, daſs ſie ſich in Oxyd verwandeln und Sauerſtoff verſchlucken. Auch Wismuth und Spieſsglanz wurden oxydirt, und der dicke Rauch, den ſie dabei haben, ſetzte ſich als weiſse Blumen an darüber gehaltenes Papier an. Dagegen gelang es van Marum nicht, auch durch die ſtärkſten Schläge Zinn oder Zink, oder Silber-Amalgam, oder Queckſilber, letzteres in Glasröhren eingeſchloſſen, zu oxydiren. Läſst man durch die Metalldrähte in einer geringen Entfernung von etwa $\frac{1}{8}$ Zoll über Papier ausgeſpannt die Schläge einer Batterie gehn, ſo verwandelt ſich zwar ein groſser Theil in einen dicken Rauch, ein Theil des gebildeten Oxyds legt ſich aber in einer ſchönen Zeichnung von verſchiedener Farbe nach Beſchaffenheit des angewandten Metalls auf dem untergelegten Papiere an. Van Marum hat in ſeiner erſten Fortſetzung[2] eine Reihe von colorirten Abbildungen der durch Gold, Silber, Kupfer, Meſsing, Eiſen, Blei, Zinn und eine Legirung von Blei und Zinn auf dem Papiere hinterlaſſenen Zeichnungen des daraus abgeſetzten Staubes gegeben, welche eine ſehr richtige Anſchauung

1 G. I. 257.

2 Première Continuation. Haarlem 1787. p. 64.

dieser interessanten Producte des el. Schlages gewähren. Alle charakterisiren sich durch eine geflammte Ausbreitung nach beiden Seiten, die sich beim Eisen noch in feine Fäden und Flocken verliert, während beim Zinn die nach beiden Seiten weit zerstreuten glühenden Kügelchen auf dem Papiere Flecken wie Perlenschnüre hinterlassen haben. Auch unter Wasser bewirkte van Marum die Oxydation des Blei's und Eisens, wobei sich das Oxyd als eine Wolke erhob, und einige Luftblasen aus dem Wasser aufstiegen, die sich als brennbares Gas verhielten. Hier fand also eine Wasserzersetzung statt. Fusinieri's [1] Versuche, welche die Verflüchtigung der Metalle durch den el. Schlag betreffen, würden von einem hohen Interesse seyn, wenn man ihnen vollen Glauben schenken könnte. Er will nämlich beobachtet haben, daſs, wenn er eine wohl polirte Silberscheibe in gleiche Enfernung zwischen zwei Knöpfe brachte, der eine von Gold, welcher mit dem Innern der Batterie, der andere von Silber, welcher mit der äuſsern Belegung in Verbindung stand und die Entladung bewirkte, so daſs die El. ihren Weg von dem goldenen Knopfe durch die Silberscheibe nach dem silbernen Knopfe nehmen muſste, auf der Silberscheibe und zwar auf den beiden einander entgegengesetzten Flächen, sich Kreise von Gold zeigten, und zwar schien das hier übergeführte Gold eine gewisse Flüchtigkeit behalten zu haben, denn diese kreisförmigen Flecken von Gold verschwanden nach einiger Zeit. Auch andere Metalle will Fusinieri auf diese Weise durch die Elektricität verflüchtigt haben, die sie gleichsam durch die Masse der Leiter durchgeführt und auf ihrer Oberfläche abgesetzt haben müſste, und auch die Flecken dieser Metalle sollen nach einiger Zeit wieder verschwunden seyn.

Ich habe diese Versuche mit Flaschen von 4 bis 8 Quadratfuſs Belegung, die zu einem hohen Grade von Spannung geladen waren, nach der Anweisung Fusinieri's wiederholt, aber nichts wahrnehmen können, was eine solche Ueberführung des Goldes verrathen hätte, und glaube daher, daſs hierbei eine Täuschung zum Grunde lag. Indem nämlich der starke Schlag auf die Scheibe von Silber oder von wohl polirtem Kupfer, die ich gleichfalls anwendete und auf welche

1 Pouillet Elémens de Physique. T. II. p. 598. Paris 1827.

das Gold ſich abſetzen ſoll, überſchlägt, erzeugen ſich gefärbte Kreiſe, welche Fusinieri für Flecken des übergeführten Metalls anſehn konnte. In einigen Fällen entſtanden auf der Kupferplatte ſtrahlenförmige poſitive Lichtenberg'ſche Figuren.

An dieſe Verſuche reihen ſich einigermaſsen die von Priestley[1] zuerſt angeſtellten Verſuche über die Entſtehung von concentriſchen Ringen, die die ſchönſten prismatiſchen Farben zeigen, wenn man Batterieſchläge aus einer feinen Spitze, z. B. eine Nadel, auf eine ebene Metallſcheibe überſchlagen läſst. Dieſe Farben entſtehn um ſo ſchneller, je kleiner der Abſtand der Spitze von der Metallfläche iſt; auch werden die Ringe um ſo enger zuſammengedrängt erſcheinen, während ſie im Gegentheil einen um ſo gröſsern Raum einnehmen, je gröſser der Abſtand der Spitze iſt. Je feiner und ſchärfer die Spitze iſt, deſto zahlreicher ſind die Ringe; eine ſtumpfe Spitze bringt viel breitere Ringe hervor, aber in geringerer Anzahl, und die Farben entwickeln ſich ſpäter. Bei der Muſterplatte von Stahl, welche Priestley der Königl. Societät vorzeigte, betrug der Abſtand der feinen Nadelſpitze nur $\frac{2}{21}$ Zoll, die Batterie hatte 21 Quadratfuſs Belegung, war aber zu keiner hohen Spannung geladen. Das Erſte, was man wahrnimmt, iſt eine dunkelrothe Färbung, welche den Centraltheil umgiebt, bald darauf, gewöhnlich nach 4 bis 5 Entladungen, fängt man an, eine kreisförmige Stelle von ausgezeichnet blaſsrother Färbung zu unterſcheiden; dieſe Stelle dehnt ſich während der ganzen Reihe von Schlägen nur wenig aus, aber ſie wird nach und nach mit Ringen von allen Farben angefüllt und ihre äuſseren Ränder werden bräunlich. Nach einigen neuen Entladungen fängt ein zweiter ringförmiger Raum im Umfange des erſtern an ſichtbar zu werden, der ſich allmälig eben ſo färbt. Die deutlichſten Farbentinten zeigen ſich anfänglich am Umfange des Centrums, ſie rücken in dem Maſse, als die Schläge vielfältiger werden, nach dem Kreisumfange des erſten Raumes, um neuen Farben Platz zu machen. Nach 30 bis 40 Entladungen bemerkt man gewöhn-

1 Philos. Transactions. Vol. LVIII. (1768) S. 68 — 74. im Auszuge in den Ann. de Chimie et de Phyſique. Tome XXXIV. S. 292. überſ. in Schweigger's Jahrb. 1827. T. II. p. 166. Vgl. damit Nobili's Bemerkungen ebend. 1828. T. III. p. 69.

lich drei deutliche Ringe, die zusammen einen Durchmesser von ¼ Zoll auf Priestley's Musterplatten hatten. Fährt man fort, neue Schläge darauf wirken zu lassen, so verlieren die Farbenringe an Schönheit und Farbenreinheit. Das Rothe herrscht vor und macht die andern Farben durch seine Beimischung miſsfarbig. Alle Erscheinungen verhalten sich gleichmäſsig, wenn die positive Elektricität auch in entgegengesetzter Richtung von der Scheibe nach der Spitze übergeht. Priestley will die Ringe gleich gut auf Gold, Silber, Kupfer, Bronze, Eisen und Blei erhalten haben.

Nobili, der eine Batterie von ungefähr 14 Quadratfuſs Belegung anwendete, beobachtete die Farbenringe in einem Raume von 2 bis 3 Linien Durchmesser. Der Mittelpunct war beinahe ausgehöhlt und durchaus mit Puncten und Metallkörnern übersäet, so daſs man eine deutliche Schmelzung des Metalls daran erkennen konnte; die Farbenringe umgeben die kleine Centralhöhlung, aber nur auf dem Kupfer waren sie deutlich und wirklich farbenspielend, demnächst auf dem Stahle, auf dem Silber und Platin waren sie aber nur sehr schwach gefärbt.

In den Versuchen, welche ich selbst mit einer Batterie von 16 Quadratfuſs Belegung anstellte, zeigte sich nach 60 Schlägen der Raum von reichlich drei Linien mit Zonen bezeichnet, in der Mitte, der feinen Spitze gegenüber eine kleine Höhlung fast wie ein Punct, um diese ein brauner Fleck wie von Kupferoxyd, dann ein Ring nur von sehr schwachen prismatischen Farben, der von einem schmalen Ringe von sehr schönen prismatischen Farben von innen nach auſsen blau, purpur, orange und gelb eingeschlossen war, dann ein Ring von reinerem Metallglanze, den ein etwas breiterer Ring mit sehr schwachen prismatischen Farben umschloſs.

Priestley verglich diese Erscheinungen mit den Farben, welche die Hitze auf dem Stahle (und auch auf dem Kupfer) hervorbringt. Es dünkt ihm wahrscheinlich, daſs sich hierbei Schichten von verschiedener Dicke bilden, von denen eine jede die Farbe zurückwirft, welche ihr eigenthümlich ist, daſs endlich die Dicke dieser Schichten fortwährend sich verändert, nach Maſsgabe der vervielfachten Anzahl der Schläge. Diese Zurückführung der prismatischen Farbenringe auf die Farben dünner Blättchen ist ohne Zweifel die richtige Erklä-

rung. Es verdient aber dabei noch eine besondere Beachtung, daſs wenigstens auf den von mir dargestellten Platten Ringe von unverändertem Metalle mit prismatischen Ringen abwechselnd sich zeigten. Es wiederholen sich also hier ähnliche Erscheinungen, wie bei den Lichtenberg'schen Figuren, abwechselnde positive und negative Zonen.

Wie die Wärme und das Licht nach Verschiedenheit der Intensität ihrer Wirksamkeit und sonstiger Umstände bald Oxydation, und dann auch wieder Desoxydation derselben verbrennlichen Körper (Metalle) bewirken, so bewirkt auch ihrerseits der elektrische Schlag unter veränderten Umständen die Wiederherstellung, Desoxydation derjenigen Metalle, von denen wir oben gesehn haben, daſs ihre Oxydation durch die elektrische Entladung herbeigeführt werde. Die ersten Versuche hierüber stellte Beccaria schon im Jahre 1758 an[1]. Der Graf von Milly trieb diese Versuche noch weiter und wollte durch el. Schläge die Mennige, das Bleiweiſs, die Oxyde des Zinns, Zinks und Wismuths reducirt haben[2]. Brisson und Cadet bestritten die Richtigkeit dieser Resultate und behaupteten, die vermeintlich reducirten Metalle seyen nichts anders, als die geschmolzenen metallischen Zuleiter gewesen[3], van Marum hat jedoch durch mit aller Sorgfalt angestellte Versuche die Richtigkeit der Resultate Milly's auſser Zweifel gesetzt[4]. Er brachte die Metalloxyde auf eine Glasplatte zwischen zwei Glasstreifen in einer Strecke von zwei Zollen und bedeckte sie mit einer Glasplatte. Um der Einwendung zu begegnen, daſs das vermeintlich reducirte Metall eigentlich nur das geschmolzene Metall des Zuleiters sey, bediente er sich als Zuleiter der Cylinder von naſsgemachter Leinwand. Das Ganze wurde unter die Presse gebracht, das bedeckende Glas wurde öfters in Stücke zerbrochen. Sowohl in dem rückständigen Oxyde, als auch an den Glasstreifen war das reducirte Metall auf das Deutlichste auch mit den bloſsen Augen zu erkennen. Die Batterie, welcher sich van Marum bediente, hatte 225 Quadratschuh Belegung. Es ge-

1 Dell' Elettricismo. Turin 1758. p. 282.

2 Journal de Physique Tome IV. p. 146.

3 Mém. de l'Acad. royale des Sciences. Pour 1775. p. 243.

4 Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem. 1785. p. 184.

Digitized by Google

lang ihm Mennige, Bleiweiſs, die Oxyde des Zinks, Zinns, Spieſsglanzes und Eisens wieder herzustellen. Die Reduction des Eisenoxyds war indessen nur spärlich, und nur das metallischglänzende Ansehn, welches die zerbrochenen Glasstücke angenommen hatten, betrachtete VAN MARUM als einen Beweis dafür. Wahrscheinlich war aber die Reduction nicht weiter als bis zum Oxydul gegangen, welches gleichfalls metallisches Ansehn zeigt. Später versuchte VAN MARUM[1], die Wirkung des bloſsen Funkens aus dem Conductor seiner mächtigen Maschine. Er füllte zu diesem Ende Glasröhren, welche 14 □Zoll hoch, 0,3 bis 0,4 □Zoll weit waren, deren eines Ende zugeschmolzen und mit einem Platindrahte versehn war, mit dem Oxyde, durch das andere offene Ende wurde ein zweiter Platindraht so weit hineingeführt, daſs er von dem eingeschmolzenen Drahte nur 3 Zoll entfernt war, so daſs in diesem Zwischenraume die Funken durch das Oxyd durchschlagen muſsten. Mennige wurde sehr schnell reducirt, das Blei setzte sich an die Wandungen der Glasröhre an, es entwickelte sich dabei kohlensaures Gas und ein Gas, welches weniger Sauerstoff zu enthalten schien, als die atmosphärische Luft; reducirt wurden ferner Bleiweiſs, doch in geringerer Menge, an der Luft bereitetes rothes Quecksilberoxyd sehr schnell, das sich als schwarzes Pulver an die Wände absetzte. Zinnoxyd (Zinnasche) und Eisenoxyd konnten auf diese Weise nicht reducirt werden. PLACIDUS HEINRICH[2] meint, daſs diese beiden gleichsam entgegengesetzten Wirkungen der Oxydation und Desoxydation von ganz verschiedenen Ursachen, letztere nämlich von den beim elektr. Schlage mitwirkenden *Lichte*, erstere von der elektrischen Materie im engeren Sinne abhänge, und daſs daher der el. Schlag nur in so weit das Oxyd reducire, so weit das Licht desselben mit wirke, weſswegen bei der ersten Art, wie VAN MARUM die Versuche anstellte, die Reduction nur höchst sparsam war, verglichen mit dem Erfolge bei der zweiten Art den Versuch anzustellen, wo das Licht viel freier auf das Oxyd habe wirken können. Es enthält indessen nichts Widersprechendes, diese scheinbar entgegengesetzten Wirkungen auch bloſs von einer gradweise

1 G. I. 274.

2 Die Phosphorescenz der Körper. S. 101. fg.

verschiedenen Wirksamkeit der Elektricität abzuleiten. Von der Wärme wenigstens ist es ausgemacht, daſs sie nach ihren verschiedenen Graden bald Oxydation, bald Desoxydation einer und derselben Substanz bewirkt.

Wenn starke el. Schläge über Nichtleiter hingeführt werden, so erscheinen sie dabei als Funken von verschiedener Lichtintensität und Färbung; in den Nichtleitern findet bisweilen eine geringe chemische Zersetzung statt, und es wird häufig eine mehr oder weniger andauernde Phosphorescenz erzeugt. Läſst man einen starken el. Schlag über einen Glasstreifen gehn, indem man die Spitzen der Drähte des allgemeinen Ausladers in einer Entfernung von 2 oder 3 Zoll von einander aufsetzt, so zeigt sich eine Spur des Funkens gewöhnlich als ein zickzackförmiger matter Streif, und daſs hierbei keine bloſse mechanische Wirkung durch Trennung der Massentheilchen von einander, sondern eine wirkliche chemische Zersetzung statt findet, beweiset die Wiederherstellung der blauen Farbe des gerötheten nassen Lackmuspapiers, wie Simon gezeigt hat[1]. Diese alkalische Reaction zeigt sich auf dem ganzen Wege des el. Funkens, und die Erscheinung weicht in dieser Hinsicht von den galvanisch-chemischen Zersetzungen ab, wo die entgegengesetzten Substanzen, Säure und Alkali, an den entgegengesetzten Polen zum Vorschein kommen. Ein gleicher Schlag von einer Batterie von 4 Quadratfuſs Belegung, über gemeinen Feldspath von blaſsrother Farbe geleitet, gab keine Spur von Kali zu erkennen, als aber 10 Quadratfuſs Belegung fünfmal über dessen Oberfläche entladen wurden, zeigten sich deutliche Spuren von Kali, doch in geringerem Grade, wie beim Glase. Andere Arten von Feldspath mit Ausnahme des grünen Feldspaths (des sogenannten Amazonensteins), so wie mehrere andere Kali- oder Natronhaltige Fossilien, wie Leucit, Zeolith, auch viele andere harte Fossilien, zeigten keine Spur von chemischer Zersetzung. Dagegen zeigten die kohlensauren und schwefelsauren Kalk-, Baryt- und Strontianarten die deutlichsten Kennzeichen von alkalischer Reaction, ohne daſs jedoch eine Spur einer an irgend einem Puncte freigewordenen Säure entdeckt werden konnte, selbst dann nicht, als Simon die Stelle, über

1 G. XXX. 54.

welche der Schlag hingeführt wurde, mit einem auf der innern Fläche befeuchteten Uhrglase bedeckte, um die etwa in Dampfform verwandelte Säure aufzufangen.

Blättriger grüner Talk gab nach 5 Entladungen von 4 Quadratfuſs Belegung deutliche, nach 5 dergleichen von 10 Quadratfuſs Belegung sehr starke alkalische Wirkung, auch weiſser und grüner Speckstein durch das letztere Verfahren doch nur schwache, die natürliche Bittererde aus Mähren dagegen stärkere. Läſst man über die Oberfläche eines Stücks Kreide, auf welche man die Enden der Drähte des allgemeinen Ausladers aufsetzt, einen starken el. Schlag gehn, so zeigt sich auf dem Wege des Schlages ein Lichtstreifen mit prismatischen Farben, der einige Stunden hindurch anhält. Gleiche Wirkungen werden durch das Ueberschlagen der Entladung auf der Oberfläche anderer Nichtleiter hervorgebracht, allein die Stärke und Farbe, sowie die Dauer des Lichts weichen beträchtlich von einander ab, und läſst man den Schlag durch die Substanz einiger derselben gehn, so werden sie in leuchtende Partikelchen zertheilt, die eine beträchtliche Zeit hindurch ihr Licht behalten. Versuche dieser Art sind zuerst von Lane und Canton[1] angestellt, und nachher von Wilson, Morgan und Skrimshire[2], sowie vorzüglich von Placidus Heinrich[3] fortgesetzt worden. Singer erhielt beim Ueberschlagen des el. Schlages über verschiedene Substanzen nachfolgende Resultate. Natürlicher schwefelsaurer Baryt: hellgrünes Licht; natürlicher kohlensaurer Baryt: eben so, nur weniger glänzend; trockenes essigsaures Kali: glänzend grünes Licht; Bernsteinsäure: ebenso und mehr dauernd; Hutzucker: ebenso; Gypsspath: ebenso, aber vorübergehender; calcinirte Austerschalen: prismatische Farben; eben dieselben mit Schwefel calcinirt: dauerhaft und helles Licht; Bergkrystall: erst rothes, dann weiſses Licht; Quarz: schwach weiſses Licht; Borax: blasses grünes Licht; Boraxsäure: hellgrünes Licht[4]. Placidus Heinrich unterwarf eine groſse Menge Substanzen aus

1 Priestly's Geschichte der Elektricität, übers. von Krünitz S. 189.

2 Nicholson's Journ. XV. 281. XVI. 101. XIX. p. 153.

3 Die Phosphorescenz der Körper. Nürnberg 1811.

4 Singers Elemente der Elektricität. S. 129.

Digitized by Google

den unorganiſchen und den organiſchen Reichen ähnlichen Verſuchen. Er bediente ſich dabei bloſs einer einzigen Flaſche von 160 Quadratzoll Belegung, und will durch Batterieen und wiederholte Schläge keine auffallend verſtärkte Reſultate erhalten haben. Das allgemeine Reſultat aller ſeiner Verſuche war, daſs die Körper in dem gleichem Verhältniſſe, in welchem ſie ſchneller und intenſiver durch *Beſtrahlung* vom Sonnenlichte Phosphoreſcenz annahmen, auch durch den el. Schlag dieſelbe erhielten. Er ſchreibt daher die ganze Wirkung bloſs dem Lichte des el. Schlages zu, und erklärt aus der groſsen Intenſität deſſelben die augenblickliche Hervorrufung der Phosphoreſcenz, während beim ſchwächeren Sonnenlichte mehrere Secunden dazu erforderlich waren. Beſonders geneigt, ſolche Phosphoreſcenz anzunehmen, fand er diejenigen mineraliſchen Subſtanzen, die mit einer Säure verbunden ſind, die kohlenſauren und ſchwefelſauren Kalk- und Barytverbindungen. Die längſt von ihm beobachtete Phosphoreſcenz betrug bei einem röthlichen Schwefelſpathe 8 Minuten.

Auch über die Oberfläche beſſerer Leiter fährt der el. Schlag in Geſtalt eines ſichtbaren Funkens hin, und kann auf dieſe Weiſe ſehr verlängert werden. Priestley[1] hat hierüber eine groſse Reihe von Verſuchen angeſtellt. Er bemerkte dieſe Erſcheinung zuerſt bei einer Schöpſenkeule, über welche der Schlag auch bei einer Entfernung von mehrern Zollen als ſichtbare Funken über die Oberfläche hinfuhr. Ebenſo auffallend zeigte ſich dieſe Erſcheinung beim Waſſer, bei verſchiedenen animaliſchen Flüſſigkeiten Milch, Eiweiſs, Eigelb, ſelbſt bei einer Entfernung der Drähte von 10 bis 12 Zoll von einander. Dabei iſt das Licht ſehr lebhaft, und der Knall ſtärker, als beim Durchſchlagen durch die Luft, und hat Aehnlichkeit mit dem Knalle einer Peitſche. Ueber die Oberfläche des Vitriolöls fuhr dagegen die el. Entladung mit einem dumpfen Getöſe, und einer rothen Farbe. Hält man die Hand unter das Waſſer, wenn die Exploſion über die Oberfläche deſſelben hinfährt, ſo hat man, wenn die Diſtanz der Drähte nicht zu groſs iſt, nur eine ſchwache oberflächliche Empfindung davon, die aber in eine wahre Erſchütterung

1 Geſchichte der El. S. 448.

übergeht, wenn die Drähte bei einer Batterie von 5 bis 6 Quadratschuhen 7 Zoll oder mehr aus einander stehn, und in diesem Falle wird der gröſste Theil der Explosion durch das Wasser hindurchgeleitet. Ist die Distanz geringer, so fährt der Funke über die Oberfläche des Wassers hin, auch wenn die Drähte in das Wasser eingetaucht sind, und ihre Entfernung durch Eintauchen in schiefer Richtung unter dem Wasser geringer ist, als an der Oberfläche des Wassers. Gieſst man Wasser auf Quecksilber oder Messing, so nimmt die Explosion auf eine unsichtbare Weise ihren Weg durch die Masse des vollkommenen Leiters, dagegen wird längst einem schmalen und langen Streifen von Blattgold, Blattsilber u. s. w. die Explosion sichtbar als ein hellleuchtender Funke, den man bei Anwendung einer starken Batterie und bei der Ladung zu einer hohen Spannung bis auf mehrere Schuhe verlängern kann, wobei das Blattgold und Blattsilber auf dem Streifen Pappe oder Glas eine der oben bereits beschriebenen Zeichnung hinterläſst. Alle diese Erscheinungen erklären sich aus den verschiedenen Verhältnissen der Leitung unter diesen verschiedenen Modificationen.

Was die Wirkung des el. Schlages auf verschiedene Gasarten und ihre Gemenge betrifft, so kann derselbe hier übergangen werden, da einerseits alle diese Wirkungen auch von dem einfachen el. Funken hervorgebracht werden, andererseits dieselben mehr in das Detail der Chemie gehören.

Die Rolle, welche der el. Schlag in der Sphäre des Magnetismus spielt, indem er in unmagnetischem Stahle magnetische Pole hervorruft, in Magneten den Magnetismus nach Verschiedenheit der Umstände verstärkt oder schwächt, auch die Pole wohl umkehrt, findet ihre nähere Erwägung und Erklärung in den Artikeln, welche sich auf den Elektromagnetismus beziehn.

Es bleibt uns also nur noch übrig, die Wirkungen des el. Schlages auf Thiere und Pflanzen kurz zu betrachten. Jene eigenthümliche würdige Empfindung, welche man die elektrische Erschütterung nennt, und die damit verbundene unwillkürliche Zusammenziehung der Muskeln, welche eintritt, wenn der menschliche Körper oder auch nur eins der Glieder in den Verbindungskreis der beiden Belegungen eingeht, und die Entladung durch dasselbe durchgeht, war es vorzüglich, was im

Digitized by Google

Anfange die allgemeine Aufmerkſamkeit ſo ſehr auf ſich gezogen hatte, und wir verweiſen in dieſer Hinſicht auf den Artikel *Flaſche, elektriſche*[1]. Sobald der elektriſche Schlag eine groſse Stärke erreicht, nähern ſich ſeine Wirkungen ſehr denjenigen des Blitzſtrahles, und haben Lähmung und ſelbſt den Tod zur Folge. So tödtete PRIESTLEY eine Ratze durch den Schlag von 6 Quadratfuſs Belegung, Katzen durch 33 — 38 Quadratfuſs; ein Hund ward blind durch einen auf den Kopf gerichteten Schlag aus 62 Quadratfuſs belegter Fläche. Kaltblütige Thiere, wie Fröſche, können ſtärkere Schläge ohne beſondere Verletzung aushalten. VAN MARUM[2] ſtellte mit ſeiner groſsen Batterie von 550 Quadratfuſs Belegung Verſuche über die Wirkung des el. Schlages auf die Reizbarkeit des thieriſchen Körpers an. Dieſes geſchah bei Aalen, welche einen ſo hohen Grad von Reizbarkeit beſitzen, daſs ſie nach abgeſchnittenem Kopfe noch mehrere Stunden ſich bewegen. Lieſs er den el. Schlag durch die ganze Länge eines einen halben Fuſs langen Aales gehn, ſo war er augenblicklich getödtet, und jede Spur von Reizbarkeit vernichtet. Lieſs er aber den Schlag bald durch den Kopf, bald durch den Schwanz, bald durch den mittleren Theil des Körpers gehn, ſo war die Reizbarkeit nur in dieſem Theile vernichtet, und der übrige Körper behielt ſie vollkommen bei. Hiermit ſtimmten die Verſuche an Kaninchen mit der Entladung von 30 Quadratfuſs belegter Fläche völlig überein. Bei dieſer die Nervenkraft und die davon abhängige Reizbarkeit der Muskeln lähmenden Einwirkung des el. Schlages kommt es aber weſentlich darauf an, ob der el. Schlag genöthigt wird, mehr in das Innere des Körpers einzudringen, oder ob er mehr nur auf ſeiner Oberfläche hingeleitet wird. So fand RASCHIG[3], als er den Schlag aus einer Flaſche von zwei Quadratſchuh Oberfläche, die bis zum Ausſtrömen geladen war, durch den Knopf auf den Kopf von Eidechſen leitete, mit deren Schwanze der zur äuſsern Belegung führende Draht in Verbindung ſtand, die Eidechſen zwar erſt betäubt und wie todt, ſie erholten ſich aber bald wieder. Der Knall war in dieſem Falle heftig, und ein glänzender Funken fuhr längs der Oberfläche hin.

1 S. Bd. IV. S. 377 und 395.

2 Grens Journal der Phyſik. VI. 37.

3 G. XXXI. 204.

Digitized by Google

Als Raschig aber dieselbe Flasche nur mäſsig lud, erfolgte bei der Entladung nur ein kurzer, rother Funke, ohne den gewöhnlichen hellen Knall, aber das Thier war und blieb todt. Raschig erinnert hierbei an die heftigsten Blitzschläge, welche, indem sie nur an der Oberfläche des menschlichen Körpers hinfahren, und selbst Metalle schmelzen, nicht tödten, während weniger heftige Schläge, die ihren Weg zum Theil durch das Innere suchen, tödtlich werden. Ganz analog damit sind auch die Versuche über die Entzündung des Schieſspulvers.

Eine ganz ähnliche Wirkung des el. Schlages, wie die auf die Reizbarkeit der Thiere, beobachtete van Marum auch auf die Reizbarkeit der Pflanzen[1]. Eine ganz schwache Ladung, welche durch einen Zweig der Euphorbia lathyris Linn. ging, vernichtete alle Reizbarkeit der Gefäſse so, daſs man nachher nicht das Geringste mehr von Milchsaft ausflieſsen sah, welchen sonst die Pflanze, wenn sie verwundet wird, so häufig von sich giebt. Nairne[2] hatte den el. Schlag einer Batterie von 50 Quadratfuſs Belegung durch verschiedene Pflanzen, namentlich durch den Lorbeerbaum und die Myrthe, geführt. Alle Zweige, durch welche der Schlag gegangen war, starben früher oder später ab, je nachdem die Pflanze mehr oder weniger saftreich war, an der Myrthe z. B. erst nach einem Monate einige kleine Zweige in der Krone. Van Marum[3] wiederholte diese Versuche bei abgeschnittenen Zweigen von Weiden, die eben anfingen, Knospen zu treiben. Sie hatten alle Triebkraft verloren, und waren nach einigen Tagen abgestorben[4].

P.

---

1 Brief des Herrn van Marum an den Herrn Ingenhouss in Gren's Journal d. Ph. T. IV. p. 364.

2 Philos. Trans. T. LXIV. p. 1.

3 G. I. 216.

4 Zur Literatur im Ganzen dient: Jos. Priestley's Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Elektricität, übers. von Dr. J. G. Krünitz. Berlin u. Stralsund 1772. Martinus van Marum Description d'une très grande Machine électrique. Haarlem 1785. 4. (Deutsch. Leipzig 1785.). M. van Marum Première Continuation des Experiences etc. Haarlem 1787. 4. (Deutsch. Leipzig 1788.). M. van Marum Seconde Continuation des Expériences etc. Haarlem 1795. 4. (Deutsch. Leipzig 1798.) Beschreibung einer Elektrisirmaschine von J. R. Deimann und

Schnee.

Nix; Neige; *Snow*.

Der Schnee gehört zu den Hydrometeoren, oder denjenigen Gebilden der Atmosphäre, bei denen das Wasser die Grundlage ausmacht; er entsteht aus demjenigen Wasser, welches in der Atmosphäre anfangs als Dampf vorhanden ist, dann seine Expansion zum Theil verliert und in Dunst übergeht[1]. Alle übrige Hydrometeore erfordern einen Uebergang des völligen expandirten (durchsichtigen) Wasserdampfes in Dunst, woraus die Wolken bestehn, die Erzeugnisse fallen daher insgesammt aus Wolken herab, auſser gewissen Arten des Schnees, die bei heiterem Himmel als feine Eisnadeln erscheinen, und zwar die Luft etwas trüben, sie jedoch nicht, wie die Wolken, undurchsichtig machen.

Zur näheren Einsicht der Schneebildung scheinen mir die Beobachtungen sehr wichtig, die ich selbst gemacht habe. In einem exantlirten Ballon von feinem englischen Glase lieſs ich geringe Mengen von Wasser an einer Seite sich im gefrornen Zustande an die Wandungen anlegen, setzte dann den Ballon auf die Bank eines geöffneten Fensters in einem nicht geheizten, aber dennoch etwas mehr als die äuſsere Luft erwärmten Zimmer so, daſs die Eistheilchen nach Innen gerichtet waren. Indem dann die Wärme aus dem Zimmer durch den Ballon nach Auſsen strömte, wurden unsichtbare kleine Partikeln des Eises als Dampf mit fortgerissen, aus denen an der entgegengesetzten Wandung sehr schöne und regelmäſsig krystallisirte Schneeflocken entstanden, die nur sehr lose an der Oberfläche festhingen[2]. Hieraus geht also hervor, daſs die feinen, den Schnee bildenden Eisnadeln unmittelbar aus dem niederge-

---

Paets van Troostwyck. Leipzig 1790. Tiberius Cavallo vollständiger Unterricht von der Elektricität. Vierte Ausgabe. 2 Bände. 8. Leipzig 1797. G. J. Singer Elemente der Elektricität und Elektrochemie, übers. von C. H. Müller. Breslau 1819.

1 Ueber den Gehalt der Atmosphäre an Dampf und Dunst nach dem in diesem Werke angenommenen Sprachgebrauche ist bereits in mehrern Artikeln das Erforderliche gesagt. Vergl. *Regen* Bd. VIII. S. 212., wo sich zugleich die nöthigen Nachweisungen finden.

2 Physikalische Abhandlungen. Giessen 1816. S. 65.

Digitized by Google

schlagenen Dampfe, ohne einen merkbaren Uebergang zum Dunste, entstehn können.

Die Gestalt des Schnees ist sehr mannichfaltig, von den feinsten Nadeln bis zu dicken Flocken. Sie beruht auf der Krystallform des Eises, die sich an den feinsten Nadeln am deutlichsten zeigt, bei den groſsen Flocken aber am wenigsten kenntlich ist, weil diese aus zu regellos aufgehäuften Theilen bestehn. Ueber die Grundform der Eiskrystalle ist bereits oben[1] gehandelt, und es genügt daher hier bloſs nachzuweisen, wie sich dieselbe in den vielfachen Gestalten des Schnees zeigt. Diese haben stets die Aufmerksamkeit der Naturforscher erregt, und schon Keppler[2] untersuchte die regelmäſsigen Figuren des Schnees. Nachher sind sie von Dr. Hooke[3], Engelmann[4], Nehemiah Grew, Dr. Langwith und Nettis[5], Cassini[6], Musschenbroek[7], Lulof[8], Stocke[9], Wilke[10] und andern untersucht, am genauesten und vollständigsten aber von Scoresby[11], welcher nach eigenen Beobachtungen die verschiedenen Arten derselben in Classen gebracht und durch vortreffliche Zeichnungen erläutert hat, die ich der Wichtigkeit der Sache wegen hier vollständig mittheile, da das kostbare Originalwerk ohnehin nur in wenigen Händen sich befindet.

Die regelmäſsigsten Figuren entstehn bei strenger Kälte, und wenn gleich bei den dicken Flocken die eigentlichen Ge-

---

1 S. *Eis.* Bd. III. S. 106.

2 Strena, s. de nive sexangula. Frkf. 1611. 4. Vergl. Cas. Dornavii Amphitheatrum sapientiae Socraticae. p. 751.

3 Micrographia. p. 88.

4 Het regt Gebruyk der Naturbeschouwingen in een Verhandeling over de Sneefiguren. Haarlem 1747.

5 Phil. Trans. 1723. T. XXXII. 298. Vergl. N. 92 u. 376. T. XLIX. p. 644. Jahr 1756.

6 Mém. de l'Acad. II. 87. X. 25.

7 Introduct. T. II. Tab. 61.

8 Mém. de Berlin. 1740. T. VI. p. 83.

9 Phil. Trans. 1742. T. XLII. p. 114.

10 Schwed. Abhandl. 1761. S. 89. Journ. de Phys. T. I. p. 106.

11 An Account of the arctic regions, with a History and description of the northern Whale-Fishery. Edinb. 1820. II. T. 8. T. I. p. 425. Dessen Reise auf den Wallfischfang. Uebers. von Kries. Hamb. 1825. S. 95.

Digitized by Google

stalten schwer erkennbar sind, so gewahrt man doch bald mit genügender Sicherheit, daſs die einzeln zusammengefügten Nadeln Winkel von 60° und 120° miteinander bilden. Scoresby ordnet sie sämmtllich in fünf Arten, deren jede vielfache Verschiedenheiten darbietet. Am häufigsten und bei allen Temperaturen in gröſster Menge vorkommend sind:

1) Die blättrigen Krystalle[1], meistens sehr dünn, durchscheinend, und von ausnehmend zartem Baue. Zu ihnen gehören
a) die sternförmigen, die mit 6 Spitzen von einem Puncte aus- Fig. 174.
laufen, und eine Menge kleine, in derselben Ebene liegende bis
und mit den gröſseren 60° bildende Spitzen haben. b) Die 188.
regelmäſsigen Sechsecke sind gröſser bei mäſsiger Kälte, sehr Fig.
dünn und zart bei heftiger Kälte und mannichfaltig verschie- 189.
den, indem weiſse Linien sie in andere Hexagone oder sonstige regelmäſsige Figuren zerlegen, wobei sie zugleich von den kleinsten Blättchen bis zur Gröſse von einem Zehntelzoll
variiren, wie aus den Zeichnungen ersichtlich ist. c) An diese Fig. 190.
schlieſsen sich die Aggregationen von Hexagonen, die haupt- bis
sächlich bei niedrigen Temperaturen von der gröſsten Verschie- 194.
denheit der Gestaltung und Gröſse vorkommen, und wovon Fig. 195.
einige der wichtigsten durch die Zeichnungen dargestellt sind. bis
d) Die Verbindungen von Sechsecken sind oft mit Radien und 206.
Spitzen vereint, die in verschiedenen Winkeln gegen einander Fig. 207.
gerichtet erscheinen. Hieraus entsteht eine kaum übersehbare bis
Mannichfaltigkeit von Gestalten, bei denen die Hauptform 253.
zwar in den meisten Fällen deutlich hervortritt, andere sind jedoch offenbar durch Vereinigung und Ueberlagerung mehrerer Krystalle entstanden.

2) Ein Blättchen oder ein sphäroidischer Nucleus ist mit Spitzen umgeben, die in den verschiedensten Ebenen gegen einander liegen. Sie lassen sich nicht füglich auf der Ebene des Papiers durch eine Zeichnung darstellen, und begreifen ungefähr drei Species in sich, nämlich a) ein Krystall, bestehend aus einem Blättchen, von dessen einer oder beiden Flächen und zugleich von den Kanten mehrere Nadeln ausgehn, die alle eine Neigung von 60° zeigen. Ihr Durchmesser übertrifft zuweilen ¼ Zoll, und sie fallen häufig bei einer Temperatur

1 Die kleine Zahl über den Figuren bezeichnet, wie vielfach sie vergröſsert sind.

Digitized by Google

von — 4° bis — 6° C. b) Ein sphärischer Nucleus mit Radien, die nach allen Seiten auslaufen. Beide Species unterscheiden sich dadurch, daſs bei jener der Kern durchsichtig, bei dieser undurchsichtig, ein kleines zusammengesintertes Tröpfchen ist, die Spitzen aber sind bei beiden gleich, auch ist ihre Gröſse nicht sehr verschieden, doch bleibt die letztere etwas gegen die erstere zurück.

3) Feine Spieſse oder sechsseitige Prismen. Sie sind zuweilen sehr zart und krystallinisch, zu andern Zeiten rauh, die feinsten gleichen zu kleinen Endchen geschnittenen weiſsen Haaren, erreichen an Länge ½ Zoll, fallen bei einer Kälte nicht weit unter dem Gefrierpuncte und häufig aus dem Nebel herab, weswegen sie vermuthlich in den niederen Schichten der Atmosphäre erzeugt werden.

4) Sechseitige Pyramiden, eine seltene Art, die Scoresby nur einmal, aber in groſser Menge mit andern Krystallen herabfallen sah. Eine Abart derselben hatte entweder ein Drei-
Fig. 263. eck oder eine diesem ähnliche Figur, wie die Zeichnung angiebt, zur Basis.

5) Spitzen oder Prismen, deren Enden im Centrum einer
Fig. 254. u. 255. krystallisirten Lamelle festsitzen, die seltenste Art, die Scoresby nur zweimal in geringer Menge zwischen andern Flocken herabfallen sah, als die Temperatur — 5° bis — 6° war. Die verschiedenen Species dieser und anderer Gattungen sind aus
Fig. 256. bis 269. der Zeichnung kenntlich.

Bei allen Arten sind die Figuren oft nicht vollständig ausgebildet, und in einigen Theilen mangelhaft; die vollständigsten und regelmäſsigsten Krystalle erscheinen bei niedriger Temperatur. Ueberhaupt hat die Kälte in Verbindung mit der sonstigen Beschaffenheit der Atmosphäre und der Stärke sowohl als auch der Richtung des Windes einen unverkennbaren Einfluſs auf die Gestaltung und Gröſse der Schneeflocken, wie schon Guettard[1] bemerkte, und Scoresby durch eine Zusammenstellung der Resultate seiner Beobachtungen erläutert hat; es scheinen mir aber die Thatsachen noch nicht genügend zu seyn, um allgemeine Gesetze hierüber aufzustellen. Alle die verschiedenen Gestalten aus der Grundform der Krystalle abzuleiten, wäre eine interessante Aufgabe der Kry-

1 Mém. de Paris. 1762. Vergl. Musschenbroek Introd. §. 2403.

Digitized by Google

ſtallographie, deren Löſung jedoch einen für den vorliegenden Zweck zu groſsen Zeitaufwand erfordern würde[1].

Es kann der Natur der Sache nach bloſs dann ſchneien, wenn die Temperatur unter dem Gefrierpuncte des Waſſers oder nur wenig darüber iſt, und im letztern Falle entſteht bloſs ein Gemenge aus Schnee und Regen, indem die in der kältern höhern Region erzeugten Flocken zuſammenſintern, daher auſserordentlich groſs, aber zugleich unregelmäſsig im Gefüge werden, und in den niedrigern Schichten der Atmoſphäre zum Theil ſchmelzen. In der heiſsen Zone fällt der Schnee daher nur in beträchtlicher Höhe über der Meeresfläche, z. B. unter der Linie auf der Hochebene von Antiſana fällt Schnee in einer Höhe von 12600 Fuſs ſelbſt zu 2 bis 3 Zoll hoch, und bleibt zuweilen 5 bis 6 Wochen liegen; im Königreiche Quito unweit Peramos in 11400 Fuſs Höhe, wo das Thermometer bei 9° C. mittlerer Temperatur zuweilen auf — 4° herabgeht, fällt gleichfalls Schnee, und die höchſten, bis über die Schneegrenze reichenden Bergſpitzen aller Länder haben ſtets Schnee, wenn es in tieferen Gegenden regnet, weswegen ſie auch meiſtens mit Schnee bedeckt ſind. Die Höhe, unter welcher kein Schnee mehr fällt, iſt bei der Meierei Peſanche in 11322 F. Erhebung über der Meeresfläche, wo bei den Bergbewohnern die Sitte herrſcht, den Fremden, die den erſten Schneefall dort erleben, ein Schneebad zu geben[2].

Der meiſte Schnee in mäſsiger Erhebung über der Meeresfläche unter mittleren Breiten fällt aus Wolken, bei trübem Himmel, und wenigen Graden unter dem Gefrierpuncte des Waſſers, in der Regel, wenn es nach ſtrengerer Kälte etwas gelinder geworden iſt. Hierauf iſt das Vorurtheil gegründet, daſs es bei ſehr ſtrenger Kälte nicht ſchneien könne; richtiger dagegen muſs man annehmen, daſs die Luftſtrömungen, die aus ſehr kalten Regionen kommen, eben deswegen ſehr arm an Waſſerdampf ſind. Eine gleichfalls gemeine Behauptung, wonach durch die Bildung des Schnees die zur Expanſion des Waſſerdampfes dienende Wärme frei werden und die Temperatur ſteigen ſoll[3], iſt vielmehr dahin zu be-

1 Vergl. Marx über die Kryſtallform des Eiſes in Schweigger's Journ. LIV. p. 326.

2 V. Humboldt in Ann. de Chim. T. XIV. p. 37.

3 Gren Grundriſs d. Naturlehre. §. 989.

Digitized by Google

richtigen, daſs der Schnee nur dann aus dem Dampfgehalte der Atmosphäre gebildet wird, wenn kalte und wärmere Luftschichten sich mengen, die Temperatur der entstandenen Mengung dann so weit herabgeht, daſs der Wasserdampf nicht expandirt bleiben, aber auch nicht als Regen herabfallen kann, wonach also nothwendig Schnee gebildet werden muſs. Angenommen, eine Luftmasse von 4° würde mit einer andern von — 10° vereinigt, beide so viel Wasserdampf enthaltend, daſs durch Temperaturverminderung von 1° R. ein Niederschlag entstehn müſste, so würde durch ihre Vereinigung auf gleiche Weise, als für die Bildung des Regens nachgewiesen ist[1], ein wässeriger Niederschlag entstehn, und durch die gleichfalls bis — 3° verminderte Temperatur in Schnee verwandelt werden. Hierin liegt dann auch der Grund, warum es nach dem Schneien sowohl kälter als auch wärmer zu werden pflegt; das erstere, wenn die kalten Luftströmungen die Oberhand erhalten, das letztere, wenn das Gegentheil statt findet. Nicht selten, und unter mittleren Breiten sogar noch häufiger, geht der anhaltende, bei abnehmender Temperatur stets feiner werdende Regen allmälig in gemischten, gröbern und dann erst in feinern Schnee über, welcher anfangs auf dem noch etwas wärmern Erdboden schmilzt, nachher aber sich erhält, und bei zunehmender Kälte mit heiterem Himmel liegen bleibt. Hiermit übereinstimmend ist die von Buch[2] zuerst aufgefundene, nachher mehrfach und namentlich durch Dove bestätigte Regel, daſs in Berlin, und auf gleiche Weise überall in Deutschland, Schnee entsteht oder der feine Herbstregen in Schnee übergeht, wenn der Wind von S durch W nach N übergeht, und das Barometer zu steigen beginnt. Die nördlichern, kältern, mithin auch schwerern Luftmassen pflegen nämlich in den niedern Regionen zu strömen oder, wenn sie die höhern einnehmen, herabzusinken, wodurch die südlichern genöthigt werden, über ihnen hin zu strömen, und die Vereinigung beider die Disposition zum Schneien bedingt. Nach den Resultaten, die L. v. Buch aus Beguelin's Registern entnommen hat, bringen im Winter unter 100 Malen die folgenden Windrichtungen Schnee

1 S. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1216.
2 Abhandl. der Berl. Acad. 1818 — 19. S. 101.

S,	SW,	W,	NW,	N,	NO,	O,	SO.
5,0	15,7	14,7	21,5	11,1	17,5	7,0	7,3

Es hängt also hiermit sehr naturgemäſs zusammen, daſs es häufig noch während des Schneiens zunehmend kälter werden und das Fallen des Schnees auch bei beträchtlichen Kältegraden fortdauern könne, wie schon Musschenbroek[1] aus seinen Beobachtungen gefolgert hat, obgleich auch aus den angegebenen Bedingungen leicht erklärlich ist, daſs nach dem Fallen des Schnees die Temperatur milder werden könne, wenn die südlichern, wärmern Luftströmungen die Oberhand erhalten. Auf jeden Fall muſs eine mit Wasserdampf mehr beladene Luftschicht vorhanden seyn, aus welcher zur Abkühlung ein Niederschlag entsteht, der dann noch durch die hinlänglich niedrige Temperatur in Schnee verwandelt werden kann. In der Regel wird daher unter mäſsigen Breiten der Schnee bei Temperaturen fallen, die geringer sind, als diejenigen, welche der strengsten Winterkälte und heiterem Himmel angehören. Diesemnach hält L. v. Buch für Berlin eine Temperatur von — 4° bis — 5° für die mittlere, bei welcher dauernder Schnee fällt, und glaubt, daſs es bei — 13° kaum noch schneien könne, Kämtz[2] aber sah zu Halle am 15. Jan. 1828 bei — 14°,8, am 20. Jan. 1829 bei — 16°, am 4. Febr. 1830 bei 17°,8 und am 30. Jan. 1830 bei — 18°,1 Schnee fallen. Ohne die tiefsten Temperaturen, wobei es noch schneien kann, besonders beachtet und aufgezeichnet zu haben, finde ich in meinen meteorologischen Registern Schneefälle bei tieferen Temperaturen bemerkt: am 12. Jan. 1820 bei — 13°,75, am 3. Jan. 1821 bei — 7°,25, am 13. Jan. 1823 bei — 8°,75 und am 24. desselben Monats bei — 9°,3, am 26. Jan. 1826 bei — 10°, am 22. Jan. 1827 bei — 9°,25, am 17. Jan. 1829 bei — 6°,75, am 5. Jan. 1830 bei — 10° und am 19. Dec. desselben Jahres bei — 6°,75. Hieraus ergiebt sich also, daſs das Fallen des Schnees bei niedrigern Temperaturen nicht eben unter die Seltenheiten gehört, und zwar vermuthlich für ganz Deutschland und diejenigen Länder Europa's, die unter gleichen Breiten liegen, obgleich L. v. Buch im Wesentlichen darin Recht hat, daſs die Temperatur beim Schneien meistens

1 Introduct. §. 2403.

2 Lehrbuch der Meteorologie. Halle 1831. Th. I. S. 406.

Digitized by Google

geringer ist, als die stärkste zu jener Zeit, da in der Regel nach dem Schneien eine gröſsere Kälte folgt, die um so stärker zu seyn pflegt, je tiefer die Temperatur beim Schneien selbst herabging. Aus höheren Breiten sind über diese Frage nicht hinlänglich zahlreiche Beobachtungen bekannt, indeſs wissen wir, daſs eigentliche Schneefälle auch dort bei verschiedenen, den eben angegebenen nahe kommenden Temperaturen statt finden. So giebt Scoresby[1] als niedrigste Temperatur — 12°,3 C. an, bei welcher es in den Eismeeren bei Spitzbergen noch eigentlich zu schneien pflegt, eine Bestimmung, welche ihr Auffallendes verliert, wenn man berücksichtigt, daſs bloſs während des Sommers dort beobachtet wurde.

In allen Gegenden von Deutschland, hauptsächlich in den nördlichern, fallen nicht selten bei anscheinend ganz heiterem Wetter, bei Windstille und im Sonnenschein ganz feine, völlig durchsichtige und winzig kleine Blättchen, seltener kleine Nadeln, herab, die durch die Reflexion des Lichtes glänzend erscheinen und daher sowohl bei ihrem Herabfallen und Schweben in der Luft, als auch auf einem dunkeln Grunde leicht kenntlich werden. Obgleich die Anwesenheit solcher feiner Krystalle in den höhern sehr kalten Regionen der Atmosphäre höchst wahrscheinlich ist, da man aus ihnen die Entstehung der *Höfe* erklärt, die man, namentlich wenn sie sehr schwach sind, bei der Spiegelung der Sonne im Wasser[2] oder nach der sinnreichen Methode von Kämtz in einem schwarzen Glasspiegel wahrzunehmen pflegt, so ist doch zu vermuthen, daſs die eben erwähnten nicht aus dieser Höhe herabfallen, sondern in den untersten Schichten der Atmosphäre gebildet werden. Unter mittleren Breiten fallen nur wenige solche feine Krystalle herab und bilden keine eigentliche Decke, obgleich der Proceſs sich zuweilen an mehreren Tagen nach einander erneuert, unter höhern Breiten aber ist die Erscheinung weit häufiger und die Menge des auf diese Weise erzeugten sogenannten *Staubschnees* beträchtlich groſs. Parry[3] sah ihn bei seinem Winteraufenthalte zu Port Bowen

1 A. a. O.

2 Vergl. *Hof.* Bd. V. S. 434.

3 Journal of a third Voyage for the Discovery of a North-West Passage. cet. Lond. 1826. 4. p. 77.

Digitized by Google

mehrmals an heitern Tagen herabfallen, und seine Höhe betrug, wo ihn der Wind nicht zusammenwehte, 4 bis 5 Zolle; die Krystalle waren sehr klein. Maupertuis[1] beschreibt den Schnee in Lappland als einen feinen, trocknen Staub, welcher bei einer Höhe von 4 bis 5 Fuſs das Gehen fast unmöglich macht. Er dringt durch die feinsten Risse in die Häuser ein, greift die Augen sehr an und ist nach den Beobachtungen von Middleton[2] in Nordamerica eine groſse Plage des hohen Nordens. Auch Bedemar[3] sah ihn zu Röraas bei — 15° C. im hellen Sonnenscheine entstehn und aus der Luft anhaltend bis zu beträchtlicher Menge herabfallen. Oft ist die Bildung dieses Schnees mit einem Nebel verbunden, welcher durch die feinsten Risse in die Gemächer dringt und die Betten nebst den darin liegenden Personen nach Art des Reifs mit feinen Schneenadeln bedeckt, wie Bedemar[4] namentlich von Kielvig erzählt; ich selbst aber erinnere mich, daſs im kalten Winter 1788 ebendiese Unannehmlichkeit im nördlichen Deutschland bei nicht hinlänglich dicht verwahrten Gemächern statt fand.

In Deutschland und den Ländern unter gleicher Breite fällt der Schnee meistens bei ruhiger Luft, zuweilen aber ist namentlich der mit Regen gemischte oder der, welcher bei vorherrschender Gewitterdisposition, namentlich im Februar, zu fallen pflegt, mit stürmischer Witterung verbunden. Meistens geht dann der Wind während des Schneiens von seiner westlichen oder südwestlichen Richtung nach Norden über, das Wetter heitert sich nach dem Falle des Schnees auf und es tritt Frostkälte mit heiterem Himmel ein. Dauert der Wind fort, so häuft dieser den Schnee in den Niederungen bedeutend auf und macht es unbestimmbar, wie hoch der gefallene Schnee anzunehmen sey. Nicht eben selten aber, und hauptsächlich häufig auf hohen Bergen und in gebirgigen Gegenden, ist das Fallen des Schnees von Winden begleitet, die an Stärke den heftigsten Stürmen nahe kommen und die man auch wohl, näher bezeichnend, *Schneestürme* zu nennen

1 La Figure de la Terre cet. Amst. 1738. 8. p. 55.
2 Phil. Trans. Nr. 465.
3 Reisen. Th. I. S. 255.
4 A. a. O. Th. II. S. 115.

Digitized by Google

pflegt, indem sie bloſs so lange anhalten, als der Schnee herabfällt. Man erkennt dann an den Schneeflocken sehr deutlich die wirbelnde Bewegung der Luft, welche ohne Zweifel bei allen Stürmen statt findet. Eine interessante Beschreibung eines solchen Schneesturmes, welcher am 20. Sept. 1781 zwei Reisende auf ihrem Wege zur Spitze des Brockens überfiel und in nicht geringe Gefahr brachte, erzählt Lichtenberg[1], und Lampadius[2] beobachtete einst auf dem 140 Fuſs hohen Petersthurme zu Freiberg, daſs der Schnee bis zu 200 Fuſs Höhe vom Wirbelwinde emporgehoben wurde. Dahin gehören dann auch die Schneestürme auf den Alpen, die so häufig den Reisenden gefährlich werden, indem sie die Wege unkenntlich machen, die sogenannten Schneelehnen aufhäufen und Menschen sowohl als auch die Lastthiere in Abgründe stürzen oder mit den herabrollenden Schneemassen überdecken, weswegen zur Rettung derselben auf dem Hospitium des St. Bernhard groſse abgerichtete Hunde gehalten werden. Unter höhern Breiten herrschen solche Schneestürme auch in geringern Höhen und namentlich scheint dieses in Norwegen der Fall zu seyn. Bedemar[3] beobachtete einen solchen zu Röraas, welcher so heftig war, daſs er auf eine Entfernung von 1200 Fuſs seine Wohnung kaum finden und nur mit Mühe erreichen konnte, ja selbst Gefahr lief, im Andrange der Luft zu ersticken. Das Geräusch des tobenden Sturmes ist dabei so heftig, daſs die lautesten Töne selbst in der Nähe nicht mehr hörbar sind. Dort besteht daher das Gesetz, daſs die sämmtlichen Arbeiter von den Bergwerken vereint zurückgehn müssen, damit die ältern und schwächern in den Schneestürmen nicht umkommen. Daſs solche Schneestürme den Gewittern beizuzählen sind, läſst sich schon an sich vermuthen, und wird sowohl durch die elektrische Disposition der Luft beim Schneien, als auch dadurch bestätigt, daſs plötzlich eintretende starke Schneefälle zuweilen von Blitzen und vom Donner begleitet sind, auch wurde einst zu Lochawe ein Schneesturm beobachtet, wobei der Schnee und alles umher einige

1 Göttingisches Magazin. 2ter Jahrg. Th. II. S. 231.

2 Systematischer Grundriſs d. Atmosphärologie. Freib. 1806 S. 163.

3 Reisen. Th. I. S. 254.

Digitized by Google

Minuten lang leuchtete[1]. Sehr heftig sind die Schneestürme zu Kamtschatka, wo sie *Purga* genannt werden und den Reisenden groſse Gefahr bringen, in den Thälern unter dem von den Bergen herabgetriebenen Schnee begraben zu werden[2].

Die Menge des herabfallenden Schnees ist nach den Jahren und Gegenden sehr verschieden. Auf den Berggipfeln, wo es nicht regnet, sondern bloſs schneiet, ist die Quantität stets ziemlich gleich, in geringeren Höhen über der Meeresfläche aber, wo es bloſs im Winter schneiet, ist sie sehr verschieden. In manchen Wintern schneiet es überall kaum, oder so wenig, daſs gar keine Schneedecke über dem Boden gebildet wird, in andern erreicht der Schnee eine Höhe von 0,5 bis etwa 4 Fuſs; an Stellen aber, wo ihn der Wind zusammenweht, liegt er zuweilen noch ungleich höher. In Thälern und waldigen Gegenden fällt mehr Schnee als in der Ebene, überhaupt aber ist seine Menge von der eigenthümlichen Beschaffenheit der Witterung im Winter abhängig. Den bedeutendsten Einfluſs auf die Menge des Schnees hat die Breite der Orte, allein es würde zu falschen Resultaten führen, wenn man beide Gröſsen einander direct proportional annehmen wollte. Daſs unter niederen Breiten nur wenig Schnee fallen könne, die Bergspitzen nahe bei und über der Schneegrenze ein für allemal ausgenommen, versteht sich schon von selbst, da die Region des Schnees überhaupt erst etwa im mittleren Italien beginnt, in Asien und vorzüglich in America aber sich viel weiter nach Süden erstreckt. Man wird sich nicht viel von der Wahrheit entfernen, wenn man den Anfang derjenigen Region, wo es in der Ebene überhaupt schneiet, in die isothermische Linie[3] von 15° C. setzt, die etwa durch

---

1 Edinb. Phil. Journal N. XXIV. p. 405. Ann. of Phil. N. Ser. XI. 154. Vergl. Lampadius in G. LXX. 113.

2 Kotzebue Reisen Th. II. S. 3. Mehrere Beobachtungen ähnlicher Erscheinungen findet man in Reisebeschreibungen.

3 Vergl. *Temperatur*. An einigen Orten geht er durch Oertlichkeiten begünstigt tiefer herab, z. B. zu Deihbihd zwischen Ispahan und Persepolis unter nicht völlig 31° N. B. fällt alle Jahre Schnee, und oft in solcher Menge, daſs die Reisenden 40 Tage dadurch aufgehalten werden. S. Morier's Reise durch Persien u. s. w. Weimar 1814. S. 99. Zu Damascus gehört der Schnee unter die Seltenheiten. S. Ali-Bey's el Abassi Reisen. Weimar 1816. 2te Abth. S. 476.

Digitized by Google

Florenz geht. In dieser gehört der Schnee unter die Seltenheiten und es kann daher von seiner Menge nicht eigentlich die Rede seyn. Von hier an nimmt dieselbe mit den Graden der Breite zu, bis etwa zur Isotherme von 5°, die nahe bei Tronthiem fällt, dann aber nimmt sie wieder ab, weil in hochnördlichen Gegenden die Luft zu kalt und demnach zu arm an Wasserdampf ist.

Ungleich wichtiger sind dann aber die örtlichen Bedingungen, welche ihren Einfluſs auf die Menge des fallenden Schnees ausüben und bewirken, daſs dieselbe unter den nämlichen Breiten auf gleiche Weise verschieden ist, als dieses bei den Regenmengen statt findet; indeſs fehlen hierüber allgemeine Beobachtungen, weil man sich in der Regel darauf beschränkt, die Menge der wässerigen Niederschläge im Ganzen auszumitteln, und es werden daher nur einzelne auffallende Erscheinungen aufgezeichnet. So erwähnt Musschenbroek mehrere Beispiele hoher Schneefälle in verschiedenen Gegenden, Bouguer[1] erzählt von solchen auf dem Berge Asonay, die jeden, den sie überraschen, in Lebensgefahr versetzen, Maupertuis gedenkt solcher in Lappland, und Ellis giebt an, daſs in der Gegend der Hudsonsbay oft alles so sehr mit Schnee überdeckt wird, daſs man weder Wege noch selbst Wohnungen der Menschen wahrnimmt; in Newyork aber fiel im Jahre 1741 so viel Schnee, daſs er die Erde 16 Fuſs hoch bedeckte. Ueberhaupt ist in den nordamericanischen Staaten die Menge des Regens und des Schnees, insbesondere des letztern, ausnehmend verschieden, was man als eine Folge des bedeutenden Einflusses betrachten muſs, welchen die herrschenden Winde auf die Beschaffenheit des Wetters im Allgemeinen ausüben, indem dieses sich bei Nord- und Nordostwinden ganz anders gestaltet, als bei südlichen und südwestlichen. Vom Thale des Tenessee-Flusses bis zu den Gewässern, die in den Ohio flieſsen, wird der Schnee zunehmend tiefer, erreicht am erstern Orte nur wenige Zoll, am nördlichen Ohio und in Indiana aber zuweilen, wie 1830 auf 31, zwei Fuſs. In Cincinnati fällt der Schnee selten über einen Fuſs hoch, meistens erreicht er nur ein Drittel dieser Höhe, und selten liegt er mehrere Wochen, weil bald erfol-

1 Voyage au Perou. p. 42.

Digitized by Google

gendes Thauwetter ihn auflöst; doch giebt es ausnahmsweise Beispiele anhaltend kalter Winter, wie z. B. 1796 und seitdem wieder 1831 auf 32. Unterhalb des 40. Breitengrades fällt mehr Schnee östlich von den Alleghanny-Bergen, als westlich von diesen, über jene Breite hinaus fällt dieser Unterschied weg, aber dort ist die Menge des Schnees der vielen Seeen wegen sehr bedeutend[1]. Norwegen hat wegen seiner nördlichen Lage und der Nähe des Meeres viel Schnee, hauptsächlich in den Gebirgsthälern und den Fiörden. Nach L. v. Buch[2] erreichte er im Winter 1806 auf 7, als es von Weihnachten bis in den April unaufhörlich schneiete, zu Gebostadt die beispiellose Höhe von 20 Fuſs und zu Lenvig von 12 F., in Bergen aber fällt nie über 4 Fuſs. In Finmarken, hauptsächlich im nördlichen Theile, fällt eine unglaubliche Menge, so daſs er namentlich in Masöe und Kielwig oft über den ersten Stock der Häuser hinausragt und nicht vor Johannis weggeschmolzen ist. So lag er unter andern im Jahr 1813 am Tage vor Johannis noch 3 Fuſs hoch[3]. In Lappland fällt derselbe in solcher Menge, daſs Bedemar einst einen Zweig von 1,5 Lin. Dicke mit einem Schneekamme von 9 Zoll Höhe überdeckt fand, was den Bäumen ein höchst wunderbares Ansehn giebt. Grönlands bewohnte Küsten haben gleichfalls wegen der Nähe des Meeres viel Schnee, dessen Menge ausnahmsweise bis ins Unglaubliche wächst. Nach dem Tagebuche der mährischen Missionäre[4] lag zu Okkak in der Nähe der Colonie Herrenhut am Ende des Mai 1791 noch zehn Fuſs hoher Schnee und an einer Seite der Kirche am 17. Mai noch 20 Fuſs hoch. In den meisten Fällen sind aber die hohen Lagen Schnee, die man antrifft, zugleich eine Folge der Anhäufung desselben durch den Wind, welcher ihn während und nach seinem Herabfallen an Orten, wo sich ein Widerstand zeigt, oder in Niederungen zusammentreibt. Als eine seltene Merkwürdigkeit bemerkte Cleaveland[5] einst zu New Brunswik, daſs der vom Winde bewegte Schnee zu

---

1 View of the Valley of Mississippi or the Emigrants and Traveler's Guide to the West cet. Philad. 1834. p. 80.

2 Reisen Th. I. S. 420.

3 Bedemar Reisen. Th. II. S. 107 u. 164.

4 Voigt's Mag. Th. IX. S. 459.

5 Silliman Amer. Journ. VI. 162. G. LXXVI. 343.

Bällen aufgerollt wurde, die auf beträchtliche Strecken fortgetrieben stets ein lockeres Gefüge beibehielten.

Die Menge des Wassers, welches der Schnee giebt, oder die Wasserhöhe, welche aus einer gewissen Höhe des gefallenen Schnees durch Aufthauen entsteht, ist kaum überall bestimmbar, weil dieses Ergebniſs zu sehr von der Beschaffenheit des Schnees abhängt. Bei strenger Kälte, und wenn derselbe bei nördlichen und nordöstlichen Winden fällt, ist er ausnehmend locker und läſst sich kaum fest zusammenballen. In diesem Falle giebt er wenig Wasser, und weil die vorherrschende Luftströmung zugleich auf die Witterungsdisposition zur Kälte deutet, so beruht hierauf die bekannte Probe, daſs man einen Schneeball über eine Lichtflamme hält und auf einen strengen Winter rechnet, wenn das Wasser aus ihm nicht herabtröpfelt, sondern durch die wegen der Härte der Krystalle stets noch lockere Masse aufgesogen wird. Solcher Schnee kann beträchtlich hoch liegen, ohne aus der angegebenen Ursache, und weil das Wetter im Ganzen zu nördlichen, trocknen Winden geneigt ist, beim Aufthauen vieles Wasser zu geben, worauf sich das Sprüchwort gründet: viel Schnee — wenig Wasser, wenig Schnee — viel Wasser. Eben daher sind die Bestimmungen über das Verhältniſs beider Gröſsen zu einander so verschieden, daſs es kaum möglich ist, ein mittleres, genähertes Resultat zu erhalten. Cotte nimmt nach den Beobachtungen von Sedileau[1] dieses Verhältniſs wie 1 zu 5 bis 6 an; nach de la Hire[2] ist dasselbe bald wie 1 zu 3,333, bald wie 1 zu 5 oder 6, bald wie 1 zu 12, woraus im Mittel 1 zu 6,6 folgen würde. Musschenbroek folgert aus einer zu Utrecht von ihm angestellten Messung wie 1 zu 24. Kraft[3] setzt dasselbe für gewöhnlich wie 1 zu 2,25, bei groſser Dichtigkeit des Schnees aber wie 1 zu 1,57, und ebenso nimmt Celsius[4] für den ersten Fall dasselbe wie 1 zu 11, im letzteren aber wie 1 zu 2,8 an. Am genügendsten sind die Bestimmungen von van Swinden[5], die sich auf zahlreiche Mes-

1 Mém. de l'Acad. 1692.
2 Ebend. 1692, 1693 u. 1711.
3 Comment. Petrop. XIV. p. 213.
4 Acta Liter. Sueciae. T. III. p. 41.
5 Journ. de Phys. T. VIII. p. 330.

Digitized by Google

sungen gründen, wonach das Verhältniſs der Dichtigkeit des Schnees zum Wasser im Minimum wie 1 zu 19, im Maximum wie 1 zu 5,56 ist, woraus ein mittleres Verhältniſs von 1 zu 9,66.... oder in genähertem Werthe wie 1 zu 10, für die meisten Fälle anwendbar, hervorgeht. Neuerdings hat Quetelet[1] diese Frage zum Gegenstande wiederholter Untersuchungen gemacht, wobei er die Absicht hatte, das Verhältniſs zwischen der Gestalt und der Dichtigkeit des Schnees aufzufinden, welche Aufgabe jedoch dadurch schwierig wird, daſs nach den Beobachtungen von Scoresby verschieden gestaltete Flocken meistens vereinigt herabzufallen pflegen. Quetelet's Messungen bestätigen allerdings den Satz, daſs der Schnee bei gröſserer Kälte lockerer ist, allein auch in dieser Beziehung findet kein allgemeines Gesetz statt, denn der Schnee hatte zwar die gröſste Dichtigkeit von $\frac{1}{2,8}$, als er bei $+ 1^{\circ},3$ C. fiel, allein die geringste von $\frac{1}{18,1}$ hatte er bei einer Temperatur von $-1^{\circ},0$ C. und bei der tiefsten von $-12^{\circ},5$ hatte er bloſs $\frac{1}{8,8}$. Zwischen diesen beiden Extremen liegen viele mittlere Werthe, welche sämmtlich im Mittel das Verhältniſs des Volumens des Schnees zu dem des daraus erhaltenen Wassers = 9,0658 mit dem eben gefundenen sehr nahe übereinstimmend geben. Hierbei muſs zugleich berücksichtigt werden, daſs der frisch gefallene Schnee am lockersten ist, allmälig aber durch seinen eigenen Druck fester wird, wozu noch der Einfluſs der Sonnenstrahlen kommt, die einen Theil desselben auf der Oberfläche erweichen, welcher zusammensinkt und durch die nachfolgende Kälte wieder gefriert, so daſs im Verlaufe der Zeit eine zunehmend dickere und stets fester werdende *Schneekruste* entsteht, die zuweilen so hart wird, daſs man über sie hingehn kann, ohne sie zu zerbrechen und in den unterhalb befindlichen lockeren Schnee einzusinken. Auſserdem verdunstet derselbe stets, und seine Menge nimmt daher um so mehr ab, je länger er liegt und je trockner während dieser Zeit die Luft bei nördlichen und östlichen

---

1 L'Institut. 1834. N. 59. Aus Annuaire de l'Observ. de Brux. 1834.

Winden iſt. Auf hohen Bergen, in Thälern und in waldigen Gegenden erhält er ſich daher ſehr lange und ſpeiſet das ganze Jahr hindurch die perennirenden Quellen und die hieraus entſtehenden Flüſſe. Als ſchlechter Wärmeleiter ſchützt er die Pflanzen gegen das Erfrieren und gewährt ſogar den Füſsen der Jäger und den Bewohnern der unter ihm befindlichen Hütten oder Gruben ein Schutzmittel gegen zu ſtrenge Kälte. Ebendeswegen genügt es auch, die Oeffnungen der Keller im Winter mit einer ſtarken Lage Schnee zu verſchlieſsen, auf deſſen Oberfläche Waſſer mit einer Gieſskanne geſpritzt wird, um eine feſte Kruſte zu erzeugen, die gegen das Zerſtreuen deſſelben ſichert.

Das Waſſer des Schnees iſt, wie das der Hydrometeore überhaupt[1], im Allgemeinen rein und bloſs ausnahmsweiſe, wie das des Regens, mit heterogenen Subſtanzen vermiſcht. Man hielt früher und hält auch noch jetzt daſſelbe ſehr allgemein für ein vorzügliches Beförderungsmittel der Vegetation, indem man ehemals dieſe Eigenſchaften den Salzen zuſchrieb, die in demſelben enthalten ſeyn ſollten. Als man die Nichtigkeit dieſer Hypotheſe eingeſehn hatte, glaubte Hassenfratz[2] dieſe Wirkung von einer gröſsern Menge darin enthaltenen Sauerſtoffgaſes ableiten zu können, welches das Wachsthum der Pflanzen befördern ſollte. Carradori[3] hat jedoch durch directe Verſuche bewieſen, daſs das Schneewaſſer vielmehr ärmer an Sauerſtoffgas iſt, was ſchon daraus von ſelbſt folgt, daſs die enthaltene Luft aus dem Waſſer beim Gefrieren entweicht. Hiernach müſſen wir alſo das Schneewaſſer als ſolches für indifferent hinſichtlich der Vegetation halten, auſser daſs es durch ſeine langſamere Erzeugung tiefer in den Erdboden eindringt und dieſen daher längere Zeit feucht erhält. Im Ganzen iſt es durch die Kälte, die gleichfalls lange bei ihm dauert, der Vegetation nachtheilig, da dieſe im Frühjahre erſt üppig zu werden pflegt, wenn ein warmer Regen erfolgt iſt. Wenn man aber Fruchtbarkeit nach beträchtlichem Schnee erwartet, ſo iſt dieſes wohl eine irrige Voraus-

---

1 Vergl. *Regen.* Bd. VII. S. 1220.

2 Journ. de l'École Polyt. Cah. 4. Journ. de Phys. XLVIII. p. 375.

3 Journ. de Phys. XLVIII. p. 226. LIII. p. 98.

setzung, da manche Sommer ohne allen vorausgegangenen Schnee sehr fruchtbar sind, oder die Ursache möchte in Vergleichung mit schneelosen kalten Wintern in dem Schutze liegen, welchen er den Winterpflanzen gewährt. Die Oekonomen halten auſserdem nicht sowohl den Schnee, als vielmehr das Gefrieren des Erdbodens (nur nicht das trockne, welches nachtheilig ist) deswegen für vortheilhaft, weil er dadurch lockerer werden soll.

Der Schnee, aus sehr feinen und locker zusammengefügten Krystallen des fast gänzlich farblosen Wassers gebildet, ist nach dem Fallen blendend weiſs, etwas weniges sanft ins Bläuliche spielend, wodurch der bei vollkommenem Weiſs so leicht erzeugte Uebergang in Gelb (wie bei weiſsen Zeugen) vermieden wird. Hiernach reflectirt er vieles Licht, erhellet daher in dunkeln Nächten die Gegenden, wird aber durch das viele reflectirte Tags- oder gar Sonnenlicht den Augen unangenehm, so daſs er sogar Entzündungen, in nördlichen Gegenden die sogenannte *Schneeblindheit*[1], erzeugt. In sehr seltenen Fällen ist der Schnee durch Substanzen gefärbt, die mit ihm zugleich herabfallen, wie die bereits erwähnten Insecten, oder durch etwas vulcanische Asche, die ihm schon in höhern Regionen zufällig beigemengt seyn kann, oder auch durch mechanisch fortgerissenen Staub, wie dieses bei dem röthlichgelb gefärbten Schnee und Hagel ausnahmsweise der Fall war, welcher 1813 in und bei Arezzo in groſser Menge fiel und nach Fabroni's[2] Untersuchung eine gewisse Quantität einer feinen erdigen Substanz enthielt, die hauptsächlich aus Thon, wenig kohlensaurem Kalk, noch weniger Eisen und etwas Braunstein nebst thierischer und vegetabilischer Substanz bestand. Auf den höchsten Bergspitzen behält er diese blendend weiſse Farbe stets bei, auf Abhängen, in der Ebene und in Niederungen aber führt der Wind aufgehobenen Staub über ihn, wonach er ein schmuziges, bald graues, bald röthliches oder gelbliches Ansehn erhält, je nach der Beschaffenheit der ihn bedeckenden Substanzen.

Abstrahiren wir von denjenigen Substanzen, welche zuweilen sowohl mit dem Regen als auch dem Schnee vereint

1 Vergl. *Gesicht* Bd. IV. S. 1417.
2 Ann. de Chim. T. LXXXVIII. p. 146.

herabgefallen sind und worüber bereits gehandelt ist[1], so hat vorzüglich der rothe Schnee die Aufmerksamkeit der Naturforscher rege gemacht. Man hat denselben schon lange gekannt, obgleich unter dem von Plinius[2] erwähnten rothen Schnee bloſs röthlich gelb beschmuzter zu verstehn ist, welchen man häufig, namentlich in Italien, findet. Hiernach ist dann Th. de Saussure[3] der erste, welcher ihn 1760 in den Alpen sah und beachtete; allein die wichtigern Untersuchungen der Naturforscher über das färbende Princip desselben begannen erst, nachdem Capt. Ross denselben 1819 in groſser Menge unter 75° 54′ N. B. in der Baffinsbay gefunden hatte. De Saussure fand, daſs die färbende Substanz der Alpen auf Kohlen einen Geruch nach Pflanzenstoffen gab, und schloſs daher hieraus sowohl, als auch aus ihrem Verhalten in Alkohol, daſs sie vegetabilischer Natur seyn müsse, etwa irgend ein Blüthenstaub, ohne daſs er jedoch anzugeben wuſste, wie ein solcher zu jenen Höhen, die von aller Vegetation entblöſst waren, gelangen könnte. Später fand Ramond[4] auf den Spitzen der Pyrenäen in Höhen von 2000 bis 2400 Metern im Frühjahre da, wo das Wasser des aufthauenden Schnees Furchen gebildet hatte, diese röthlich gefärbt und sammelte aus kleinen Vertiefungen eine genügende Menge des färbenden Pulvers, welches mit dem Schnee vermengt beim Aufthauen zu Boden fiel, getrocknet und auf Kohlen geworfen bei geringerer Hitze nach Opium und den Wurzeln der Cichoriengewächse roch, bei stärkerer Hitze sich aufblähete und sich wie vegetabilischer Stoff verhielt. Zugleich fand er jedoch kleine dunkelrothe Blättchen, die die rothe Farbe erzeugten, und hielt diese für Glimmer, wonach er also schloſs, daſs die Einwirkung der Sonne und der Frühlingsluft eine Zersetzung der Felsen bewirke, die den Glimmer hergäben; auch meinte er, daſs de Saussure am Montblanc deswegen keinen rothen Schnee gefunden habe, weil der Granit der Spitze desselben keinen Glimmer enthält. Diese Hypothese

1 S. Art. *Regen*. Bd. VII. S. 1231.

2 Hist. nat. L. XI. p. 35. Ipsa nix vetustate rubescit.

3 Voyage. ed. 4to. T. IV. p. 205.

4 Mém. de l'Inst. T. V. p. 417. Gehlen N. Journ. T. VI. p. 239.

muſste als nichtig erkannt werden, sobald Ross[1] im hohen Norden, wo gar keine Felsen mit Glimmer vorhanden sind, den rothen Schnee auf Hügeln fand, die etwa eine englische Meile lang und gegen 600 F. hoch waren, und wo die rothe Farbe bis auf den Grund, zuweilen bis zu einer Tiefe von 12 Fuſs reichte. Diese Angabe, an sich unwahrscheinlich, wird jedoch von andern mit ihm auf dem Schiffe Alexander reisenden Beobachtern bestritten, welche behaupten, daſs er nie tiefer als bis 1 oder höchstens 2 Zoll tief gefunden worden sey.

Bauer[2] hielt die färbende Substanz für vegetabilisch, setzte einen Theil der mitgebrachten wiederholt zu Kiew-Green einer geeigneten Kälte auf Schnee und von demselben umgeben aus, und fand, daſs dieselbe wuchs und aus einer Art kleiner Schwämme von $\frac{1}{1600}$ bis $\frac{1}{1200}$ Zoll Durchmesser bestand, die gröſsten neu erzeugten erreichten einen Durchmesser von $\frac{1}{800}$ Zoll. Die neuen waren zuweilen ungefärbt, wurden beim heftigen Gefrieren, vom Schnee entblöſst, schwarz, ohne jedoch die Kraft der Vegetation zu verlieren, bei gröſserer Wärme erzeugten sie eine Art grüne Substanz. Robert Brown war der Meinung, die Substanz sey der *Tremella cruenta* der englischen Botaniker sehr verwandt und gehöre zu den Algen, statt daſs Bauer sie für eine Art *Fungus* erklärte und als *uredo* mit dem Namen *uredo nivalis* benannte. Nach der Aussage des Prior Biselx ist der Schnee auf der Spitze des Bernhard nur bis auf 1 oder 2 Zoll tief röthlich gefärbt, die Färbung nimmt mit der Zeit zu und nie hat jemand so gefärbten Schnee herabfallen gesehn. Von dem in der Nähe des Hospitiums gesammelten rothen Schnee untersuchte Peschier zu Genf eine Quantität, und glaubt diesemnach, die Ursache der Färbung sey eine doppelte; theils bestehe der rothe Stoff aus sehr feinem Eisenoxyd, theils aus einer feinen harzigen, vegetabilischen Substanz, gelbroth und wahrscheinlich den Kryptogamen angehörig, etwa den Algen oder den Lichenen. Zugleich meint er, daſs das färbende Eisen wohl in den

1 John Roſs Entdeckungsreise u. s. w. Uebers. von Nemnich. Leipz. 1820. 4. S. 75. Auf einer der Tafeln ist der Schnee durch Zeichnung dargestellt.

2 Phil. Trans. 1820. P. II. p. 165.

Digitized by Google

Pflanzen enthalten seyn möge[1]. Decandolle[2] hat die Kügelchen des Alpenschnees mit denen verglichen, die von Ross mitgebracht wurden, und beide für identisch erklärt, glaubt aber nicht, daſs sie zum Geschlecht *uredo* gehören, sondern ein eignes bilden. Agardh[3] zu Lund verglich eine wohl erhaltene Probe der durch Ross mitgebrachten färbenden Substanz mit einer andern, die Baron Wrangel in der Provinz Nerike auf weiſsem Kalkstein als eine feine Kruste gefunden, zu den Lichenen gerechnet, und *Lepraria kermesina* genannt hatte. Nach seiner angestellten Prüfung sind beide identisch, gehören jedoch weder zum Geschlecht *uredo*, noch zu dem von *lepraria,* sondern zu den Algen, unter denen sie eine eigene Species bilden, die Agardh *Protococcus kermesinus* genannt hat. Dieser Naturforscher meint zugleich, es lasse sich bei den Algen nicht eigentlich bestimmen, ob sie zum Thierreiche oder zum Pflanzenreiche zu rechnen sind, Macaire Prinsep und Marcet[4] aber folgern aus ihrer Analyse, daſs die roth färbenden Kügelchen zum Thierreiche gehören, und auf jeden Fall Gelatina enthalten. Parry sah auf seiner Entdeckungsreise nach dem Nordpole den Schnee insbesondere in den Furchen der Schlitten häufig roth, oder gelblich gefärbt, und leitet diese Färbung gleichfalls von der durch Ross beobachteten Substanz ab, allein Scoresby[5] ist der Meinung, daſs diese von einer Thierart herrühre, die sich häufig in den nördlichen Polarmeeren findet, und auch dem Eise, eben wie dem darauf liegenden Schnee eine rothe, gelblichrothe oder gelbe Farbe giebt. Nach mikroskopischen Untersuchungen sind diese Thierchen braunroth, länglicht von $\frac{1}{2100}$ und $\frac{1}{3260}$ Zoll Durchmessern, und färben zuweilen ganze Strecken der See, da nach Zählung in einem Tropfen wenigstens 12960 derselben enthalten waren[6].

M.

1 Bibl. univ. T. XII. p. 254. Ann. Ch. Phys. T. XXI. p. 416. G. LXIV. 318.

2 Ann. Ch. Phys. T. XXVII p. 134.

3 Edinb. Journ. of Science. N. VII. p. 167.

4 Mém. de la Soc. de Physique de Genève. T. IV. p. 185. Vgl. Bibl. univ. XXXIX. 290.

5 Edinb. Phil. Journ. N. S. N. XI. p. 54.

6 Eine ausführliche Untersuchung über das färbende Princip des

Digitized by Google

Schraube.

Cochlea; Vis; *Screw.*

Die Schraube gehört in der Mechanik zu der Fundamentalmaschine der geneigten Ebene, aus welcher sie ohne Weiteres abgeleitet wird, so daſs ihre Construction sehr einfach ist und es dabei nur auf Klarheit und Leichtigkeit der Darstellung ankommt. Man findet diese in allen Handbüchern der Mechanik fast genau mit einander übereinstimmend, vorzugsweise anschaulich ist die Sache durch Brix[1] dargestellt, dem ich im Wesentlichen meistens folge.

Man denke sich einen Cylinder AF mit geraden Endflä- Fig.
chen und die Oberfläche desselben in eine Ebene ausgebrei- 270.
tet, so giebt diese den Rectangel AFF′A′, dessen eine Seite AA′ dem Umfange und die andere Seite A′F′ der Höhe des Cylinders gleich ist. Theilt man die beiden Seiten AF und A′F′ in gleiche Theile und zieht man die schrägen Linien AB′, BC′...., um diese Theile mit einander zu verbinden, wickelt man hernach die Ebene wieder um die Cylinder, so fallen die beiden Seiten AF und A′F′ in eine mit der Axe des Cylinders parallele Linie zusammen, und die schrägen Linien bilden eine Linie doppelter Krümmung Aa, Bb...., welche die *Schraubenlinie* (*Helix;* Filet de la vis; *Thread of the screw*) heiſst und beliebig oft wiederkehrend die *Schraube* bildet. Eine gerade Berührungslinie an irgend einem Puncte der Schraubenlinie schneidet jede auf die Axe des Cylinders senkrechte Ebene unter einem gleichen Winkel, und dieser ist kein anderer, als der Winkel α, welchen die Linie AB′ mit der Seite AA′ bildet und welcher die *Neigung der Schraubenlinie* heiſst. Wird irgend ein biegsamer prismatischer Körper, wozu man in der Regel ein vierkantiges oder ein drei-

---

Schnees, worin zugleich die bekannten Analysen und ein Auszug aus einer Schrift von Nees von Esenbeck über diesen Gegenstand mitgetheilt werden, die Substanz aber mindestens in den meisten Fällen kosmischen Ursprungs seyn soll, von Schweigger befindet sich in dessen Journal XLIV. 437.

1 Elementar-Lehrbuch der dynamischen Wissenschaften. Th. I. S. 337.

Digitized by Google

kantiges Prisma nimmt, in der Richtung der Schraubenlinie um den Cylinder so gelegt, daſs eine seiner Seiten dicht anschlieſst, so heiſst dieser von A bis B, also von einer durch die Axe des Cylinders gelegten Ebene anfangend bis wieder zu dieser Ebene fortlaufend, ein *Schraubengang* (*Helix;* Filet de la vis; *Spire*); die fortgehenden Schraubengänge heiſsen ein *Schraubengewinde,* der Cylinder wird hierdurch zur *Schraubenspindel* und das Ganze zur Schraube. Die Schraubengänge sind entweder nach auſsen hervorragend und bilden so die *männliche Schraube* (*Cochlea mas*, *cochlea exterior;* Vis mâle, Vis extérieure; *Screw*), oder sie sind in einen nach der Dicke der Schraubenspindel durchbohrten Körper eingeschnitten und bilden die *weibliche Schraube*, die *Schraubenmutter* (*Cochlea femina*, *cochlea interior;* Vis femelle, vis intérieure, écrou; *Nut of the screw*, *concave screw*), der Kreis, welcher die gerade Fläche des Cylinders begrenzt, heiſst der *Umfang der Spindel* (*Peripheria cochleae;* tour de la vis), der Abstand zwischen zwei Windungen die *Höhe der Schraubengänge* (*Distantia helicum;* Pas de la vis; *Distance of the spires*).

Die gewöhnlichen Schrauben bestehn aus einer Spindel, Fig. 271. um welche ein dreikantiges Prisma gewunden ist, wie DE, weil diese sich bequemer und schneller schneiden lassen, für stärkere Wirkungen wählt man aber ein umgewundenes vierkantiges Prisma, wie AB, bei beiden ist für die bessere Wirksamkeit erforderlich, daſs der umgewundene Körper durchaus gleichmäſsig gestaltet sey und in jedem einzelnen Puncte eine gleiche Neigung gegen eine auf die Axe der Spindel normale Ebene habe. Die Güte der Schraube, welche auf diesen Bedingungen, desgleichen auf dem gehörigen Verhältnisse der Dicke des umgewundenen Körpers zum Durchmesser der Spindel und der zu hebenden Last und endlich auf der Dauerhaftigkeit des Materials beruht, hängt von der Geschicklichkeit des Künstlers ab und bedingt ihren sehr ungleichen Werth. Dabei wird allgemein vorausgesetzt, daſs die Schraubengänge vollkommen genau in die Vertiefungen der Schraubenmutter passen. Bei der Anwendung der Schraube wird entweder die Spindel um ihre Axe gedreht, oder die Mutter um die Spindel; in beiden Fällen werden die beiden zu einander passenden geneigten Ebenen auf einander hin geschoben,

Digitized by Google

um damit irgend eine Last zu überwältigen. Um daher die bei der Schraube in Betrachtung kommenden mechanischen Gesetze aufzufinden, darf man nur die Aufgabe so stellen, als solle das Verhältniſs der Kraft gefunden werden, womit eine gegebene Last auf der geneigten Ebene zum Gleichgewichte kommt. Berücksichtigt man zuerst die Schraube AB, wobei die Form einer geneigten Ebene am vollständigsten gegeben ist, so sey die zu hebende Last = P und die Anzahl der schiefen Ebenen, deren Länge man der Bequemlichkeit wegen einem einzelnen Schraubengange gleich setzen kann, = n, so ist die auf jede schiefe Ebene drückende Last $= \frac{1}{n}$ P. Heiſst dann ferner die dieser das Gleichgewicht haltende Kraft = q, der Neigungswinkel der Schraubengänge = α, so ist nach dem Gesetze der geneigten Ebene[1]

$$n.q = P. \text{Tang.}\,\alpha, \text{ also } q = \frac{1}{n} P. \text{Tang.}\,\alpha.$$

Ist die Kraft am Ende des willkürlich langen Hebelarmes AC angebracht, dessen Richtung als lothrecht auf die Axe der Schraubenspindel angenommen wird (dessen Ende aber selbst im Umfange der Spindel liegen kann, wenn man diese zwischen den Fingern umdreht), berücksichtigt man ferner, daſs diese Kraft q der Last n mal entgegenwirkt, und setzt man den lothrechten Abstand der geometrischen Axe der Spindel bis zur Mitte des Schraubenganges = r, so ist

$$n q.r = n \frac{1}{n} P. \text{Tang.}\,\alpha.r = r.P. \text{Tang.}\,\alpha,$$

und ebenso groſs muſs die Kraft seyn, welche dieser Last das Gleichgewicht hält. Nennen wir diese Q und die Länge des Hebelarmes AC, an dessen Ende sie wirkt, = R, so ist also

$$RQ = r P. \text{Tang.}\,\alpha \text{ und } Q = \frac{r}{R} P. \text{Tang.}\,\alpha.$$

Drückt AA' die mittlere Peripherie = $2r\pi$ der Schraubenspindel aus, A'B' = ab die Höhe eines Schraubenganges = h und α den Neigungswinkel der schiefen Ebene, so ist Fig. 270.

$$\text{Tang.}\,\alpha = \frac{A'B'}{AA'} = \frac{h}{2r\pi},$$

1 S. *Ebene*. Bd. III. S. 67.

welches substituirt giebt

$$Q = \frac{Ph}{2R\pi}.$$

Diese Demonstration paſst in ganzer Strenge nur auf die Schraube AB, nicht aber auf DE, wobei die geneigte Ebene zugleich schräg ist, man kann aber diesen durch den Parallelismus beider Ebenen verschwindenden Unterschied übersehn oder mit Brix zum Cartesischen allgemeinen Gesetze[1] seine Zuflucht nehmen. Bei einer Umdrehung der Schraube hat ihr Angriffspunct den Weg $= 2R\pi$ zurückgelegt, während die Last P um die Höhe eines Schraubenganges $= h$ gehoben ist, und es folgt also hieraus das Verhältniſs der Kraft zur Last (Fig. 271.)

$$Q : P = h : 2R\pi.$$

Es ist demnach Gleichgewicht vorhanden, *wenn sich die Kraft zur Last verhält wie die Höhe eines Schraubenganges zu der vom Angriffspuncte der Kraft durchlaufenen Peripherie* oder, wenn dieser Angriffspunct im Umkreise der Schraubenspindel liegt, *zum Umfange der Schraubenspindel*. Hiernach verhalten sich Kraft und Last umgekehrt wie die von beiden durchlaufenen Wege, so daſs bei der in gleichen Zeiten erfolgenden Umdrehung beider an Geschwindigkeit so viel verloren, als an Kraft gewonnen wird. Kaestner[2] und andere Geometer wollten den Umstand mit in die Theorie aufnehmen, daſs der umgewundene Körper nicht hinlänglich scharf mit der geneigten Ebene verglichen werden könne, weil er beim Umwinden seine Gestalt ändere und nicht stets die nämliche Neigung gegen eine durch die Axe der Schraubenspindel gelegte lothrechte Ebene beibehalte; allein dieses darf bei der mathematischen Construction nicht angenommen werden, und würde ein Fehler des ausübenden Künstlers seyn, wenn es sich in der Wirklichkeit fände.

Aus der Theorie folgt, daſs man die Kraft der Schrauben zunehmend erhöhen könne, wenn man den Umfang der Spindel vermehrt und die Höhe der Schraubengänge vermindert. Beides hat in der praktischen Anwendung seine Grenzen, denn wenn man wegen der Festigkeit des Materials dieselben von Metall verfertigt, so werden sie durch gröſsern

---

1 Vergl. *Hebel.* Bd. V. S. 108.

2 Dissert. math. et phys. Altenb. 1771. 4. N. 6.

Umfang der Schraubenspindel leicht zu schwer, zu mühsam zu schneiden und durch beides zugleich zu kostbar. Die Höhe der Schraubengänge darf aber unter ein gewisses Minimum nicht herabsinken, welches durch die Haltbarkeit derselben gegeben wird. Es müssen nämlich die Zwischenräume zwischen den Schraubengängen auf gleiche Weise vertieft seyn, als die Schraubengänge selbst erhaben sind, und wenn daher 144 Windungen auf einen Zoll Länge kommen, wie bei den feinen, zum genauen Messen der kleinsten Abstände bestimmten Schrauben, den sogenannten *Mikrometerschrauben*, durch Repsold zu Hamburg und noch wohl mehr als dieses durch Fraunhofer wirklich ausgeführt wurde, so beträgt die Dicke des dreikantigen Schraubenganges in der Mitte nur $\frac{1}{24}$ Linie, ist also ebenso fein als Postpapier und kann nicht wohl vermindert werden, wenn selbst der feinste Stahl noch genügende Haltbarkeit behalten soll. Das genaue Schneiden solcher Schrauben, so daſs die Gänge insgesammt in höchster Schärfe von gleicher Dicke und von gleichem Abstande sind, erfordert bei den geübtesten Künstlern die Anwendung mehrfacher feiner Kunstgriffe in Verbindung mit der gröſsten Aufmerksamkeit und durch Uebung erlangter Fertigkeit[1].

Die mitgetheilten Figuren zeigen die Schrauben in derjenigen Gestalt, wie sie meistens angewandt werden, weil hierdurch sogleich die Bequemlichkeit erreicht wird, den Hebelarm am Kopfe der Schraube anzubringen. Eine ähnliche Gestalt giebt man den Schrauben bei den vielfachen Anwendungen derselben, wobei stets die Schraubenspindel umgedreht wird. Seltener ist die Einrichtung, daſs sich die Mutter um die Spindel dreht, wobei erstere entweder ihren Ort nicht verändert, dagegen aber durch die gehobene oder herabgedrückte Spindel die erforderliche Kraft ausübt, oder auf der unbeweglichen Spindel herauf- oder herabsteigt und dabei die Last hebt oder herabdrückt, wie bei den Pendelstangen die

1 Vorzüglich brauchbare Maschinen zum Schneiden der Schrauben nebst einer Anweisung des erforderlichen Verfahrens von Clark findet man in Edinb. Journ. of Science N. Ser. N. IV. p. 273. Sehr gehaltreiche Untersuchungen über die verschiedenen Arten von Schrauben und deren Verfertigung hat Altmütter in Jahrb. des Wien. polyt. Instituts IV. 363. mitgetheilt. Vergl. ebend. V. 204.

Fig. 272. Linsen geſtellt werden. Ein Fall der erstern Einrichtung ist durch die Zeichnung erläutert.

Um zur Erzeugung einer groſsen Kraft den Hebelarm nicht zu lang zu machen, befestigt man in denjenigen Fällen, wo eine vorzüglich starke Wirkung verlangt wird, an das Ende desselben ein Seil, schlingt dieses um eine Winde und dreht diese vermittelst eines langen Hebelarmes um. Vermittelst solcher vermehrter Hebelverbindungen läſst sich die Gewalt der Schrauben so sehr steigern, daſs selbst bei solchen eisernen, die 4 bis 6 Zoll im Durchmesser haben, die Muttern zerreiſsen oder die Schraubengänge zerbrochen werden. Die Kraft der Schrauben kann jedoch auch ohne die Vermehrung der Länge des Hebelarmes erhöht werden, wenn man zwei Schrauben mit einander verbindet, wie W. Hunter erfunden und Melville[1] bekannt gemacht hat. Diese Einrichtung, wie sie
Fig. 273. bei einer Presse angebracht werden kann, ist in der Zeichnung dargestellt. Die Schraube A wird in ihrer Mutter umgedreht, die in die obere Querleiste geschnitten ist, die Schraube B hat das ihr zugehörige weibliche Gewinde im Innern der ersten und ist an ihrem untern Ende vermittelst des durchgesteckten Riegels CD auf dem in verticaler Richtung beweglichen Deckel der Presse befestigt. Eine andere Einrichtung erhält die Schraube, wenn beide Gewinde auf dem nämlichen Cylinder geschnitten sind und jedem ein eigenes weibliches Gewinde zugehört, welche beide sich zwar nicht drehen, wohl aber einander nähern und von einander entfernen lassen, welches beides geschieht, wenn die gemeinschaftliche Spindel nach der einen oder der entgegengesetzten Richtung umgedreht wird. Die Theorie dieser Schraube ist höchst einfach. Ist nämlich die Höhe des einen Schraubenganges $= H$, die des andern $= h$, so ist nach der oben angegebenen Formel

$$Q : P = H - h : 2R\pi.$$

Hätte z. B. die Spindel am einen Theile 10 Schraubengänge auf einen Zoll, am andern 12, so würde der zu bewegende Körper durch eine Umdrehung um $\frac{1}{10}$ Zoll gehoben und gleichseitig um $\frac{1}{12}$ Zoll herabgedrückt, also im Ganzen um

$$\tfrac{1}{10} - \tfrac{1}{12} = \tfrac{2}{120} = \tfrac{1}{60}\text{stel Zoll}$$

1 Phil. Trans. 1781. T. LXXI. p. 58.

Digitized by Google

gehoben und durch entgegengesetzte Drehung herabgedrückt werden. Solche Schrauben können wegen des geringen Raumes, den der bewegte Körper durchläuft, auch zu Mikrometerschrauben von gröſster Feinheit gebraucht werden, das Schneiden derselben erfordert aber eine groſse Sorgfalt und Geschicklichkeit.

Auſser den bisher betrachteten Schrauben mit einfachem Gewinde giebt es auch solche mit zwei und auch drei Gewinden, überhaupt könnte deren Zahl beliebig groſs seyn, man geht jedoch in der Wirklichkeit selten über die dreifachen oder höchstens die vierfachen Schraubengänge hinaus. Man theilt bei solchen Schrauben für n Schraubengänge den Umfang der Grundfläche der Schraubenspindel in n Theile, fängt in jedem dieser Puncte einen neuen Schraubengang an und giebt jedem die nfache Höhe, die ein einfacher haben würde. Die Last wird daher gleichzeitig auf so vielen geneigten Ebenen in die Höhe gehoben, als Schraubengänge vorhanden sind, wonach man also für den Zustand des Gleichgewichts den Ausdruck

$$Q:P = nh:2R\pi$$

erhält. Die bei der Umdrehung der Schraubenspindel anzuwendende Kraft muſs also im gleichen Verhältnisse der Zahl der Schraubengänge vermehrt werden, wofür aber die erreichte Höhe um gleich viel zunimmt. Man gebraucht sie also da, wo man die Geschwindigkeit der Bewegung vermehren will, insbesondere aber für Pressen, die beim Nachlassen der Drehung von selbst wieder zurückgehn sollen.

Greifen die Schraubengänge, anstatt sich in den Vertie- Fig. 274.
fungen der weiblichen Schrauben zu bewegen, in die für diesen Zweck gehörig schräg gearbeiteten Zähne eines Stirnrades ein, so ist letzteres als die Last zu betrachten, die auf der geneigten Ebene hinauf bewegt wird. An dem Rade befindet sich dann zugleich eine Welle mit einem Seile, an welchem die zu hebende Last hängt. Vereinigt man daher das für die Räder geltende Verhältniſs[1] mit dem so eben für die Schraube nachgewiesenen und nennt man den Halbmesser der Welle $= r$, den des Rades aber $= \varrho$, so erhält man für den Zustand des Gleichgewichts

1 Vergl. *Rad.* Bd. VII. S. 1151.

$$Q : P = rh : 2R\pi\varrho.$$

Da auch hierbei die Längen der Hebelarme willkürlich vermehrt werden können, so läſst sich diese Schraube, die eine *Schraube ohne Ende* (*Cochlea infinita;* vis sans fin; *Endless Screw*) genannt wird, weil sie stets aufs neue wieder in die Zähne des Rades eingreiſt, zum Heben groſser Lasten mit Anwendung einer geringen Kraft gebrauchen, sie wird aber auch wegen der Langsamkeit der Umdrehung der Welle und des gleichzeitig schnellen Umlaufens der Kurbel zum Messen kleiner Bewegungen gebraucht.

Die Schraube ist wegen der Einfachheit ihrer Construction, des geringen Raumes, den sie einnimmt, und der auſserordentlichen Kraft, die sich damit erzeugen läſst, eine sehr wichtige Maschine. Ehemals hielt man sie für diejenige, womit sich die stärksten Lasten heben lieſsen, neuerdings hat man aber gesehn, daſs sie hierin durch die hydraulische Presse noch übertroffen wird[1]. Werden in die oben gegebene Formel zur Vergleichung bestimmte Werthe substituirt und wird also die Kraft des bewegenden Menschen Q = 30 ℔, die Höhe des Schraubenganges nur zu 1 Zoll, für R aber ein Hebelarm von 10 Fuſs und dieser mit einer Winde verbunden angenommen, die die Kraft abermals um das 10fache vermehrt, so wird in diesem günstigsten Falle

$$P = 30 \times 6{,}283 \times 100 : \tfrac{1}{12} = 226308 \text{ ℔}.$$

und also ein Mensch ohne Rücksicht auf Reibung allerdings die ungeheure Last von 226308 ℔. zu wältigen vermögen; allein diese kommt doch derjenigen bei weitem nicht gleich, die vermittelst der hydraulischen Presse gehoben werden kann. Zudem aber ist die Reibung bei der letztern Maschine nur ungefähr dem vierten Theile der Kraft gleich, bei der Schraubenpresse ist sie aber gröſser, als die ganze Kraft, weil sonst die Schraube beim Nachlassen der Kraft von selbst wieder zurücklaufen müſste, was jedoch nur bei gewissen, für diesen Zweck absichtlich gearbeiteten, geschieht.

Wie stark die Reibung bei einer Schraube anzunehmen sey, scheint mir nicht bloſs schwer, sondern überall kaum bestimmbar zu seyn. Indem nämlich die Schraubengänge sich in einander bewegen müssen, so kommt es sehr darauf an, ob

1 Vergl. *Presse*. Bd. VII. S. 117.

Digitized by Google

sie sich hierbei nicht klemmen oder zwischen einander gepreſst werden. Eine gut geschnittene Schraube muſs nach dem Eingreifen von etwa 3 bis höchstens 4 Gängen nicht mehr schlottern, und sich dann mit stets nahe unverändertem Widerstande durch mäſsigen Kraftaufwand weiter schrauben lassen, so lange sie noch keine Last zu überwinden hat; zugleich muſs sie augenblicklich ganz fest sitzen, sobald sie auf ein unüberwindliches Hinderniſs kommt, woraus man sieht, daſs namentlich die dreikantigen Schraubengänge sich nicht in einander pressen; allein nur selten oder mindestens nicht allezeit trifft man so vollendet geschnittene Schrauben, vielmehr widerstehn auch die minder schlechten der umdrehenden Kraft selbst bei keiner zu hebenden Last bedeutend. Man vermindert die Reibung durch Schmieren, wozu bei den feinsten, namentlich den Mikrometerschrauben, am besten eine höchst kleine Quantität weiſsen Wachses, bei denen an physikalischen und sonstigen Apparaten aber etwas von der für Luftpumpen geeigneten Pomade[1] (aber kein Oel, insbesondere bei den messingnen), bei den schlechtern Oel oder eine sonstige Fettigkeit, bei groſsen hölzernen Seife oder auch Graphitpulver genommen zu werden pflegt, allein dennoch bleibt sie stets noch bedeutend und auf jeden Fall ihre Gröſse schwer bestimmbar. V. Gerstner[2] nimmt als Reibungs-Coefficienten für geschmierte Körper allgemein $m = \frac{1}{8}$ der Last an, welche Gröſse mit der Länge der reibenden Fläche multiplicirt der Höhe hinzuaddirt werden muſs. Die Länge eines Schraubenganges ist aber $= 2r\pi$, wenn r den Halbmesser bezeichnet, und hiernach wird also mit Einführung des Reibungs-Coefficienten in die oben gegebene Formel

$$P = \frac{Q \cdot 2\pi R}{h + m \cdot 2\pi r}.$$

Setzen wir des Beispiels wegen in diese Formel angenommene Werthe und nehmen wir die Kraft des Arbeiters Q = 30 ℔, den Hebelarm R = 6 Fuſs, die Höhe des Schraubenganges h = 1 Zoll, den Halbmesser der Spindel r = 2 Zoll, so wird durch Einführung dieser Werthe

1 Vergl. *Luftpumpe*. Bd. VI. S. 612.

2 Handbuch der Mechanik u. s. w. Prag 1831. 4. Th. I. S. 522.

$$P = \frac{30 \times 6{,}283 \times 6}{\frac{1}{12} + \frac{1}{8} \times 6{,}283 \times \frac{2}{12}} = 5278{,}6 \text{ ℔},$$

statt daſs die gehobene Last P ohne Reibung 13571,28 ℔, also mehr als doppelt so viel betragen würde[1].

Bei der Schraube ist die Last auf das ganze Schraubengewinde vertheilt, welches den Vortheil gewährt, daſs ein einzelner Schraubengang nicht die ganze Last zu tragen hat und daher nicht übermäſsig stark seyn muſs. Ist die Stärke des Körpers bekannt, woraus die Schraube gemacht werden soll, und die Last, die sie zu wältigen hat, so läſst sich hieraus die Zahl der Schraubengänge finden, die sie haben muſs, um den erforderlichen Widerstand zu leisten. In der Regel wird man jedoch den Schraubenmuttern eine mehr als genügende Zahl Windungen geben, und da dieses keinen anderweitigen Nachtheil herbeiführt, also keine weitere Regel erfordert, so übergehe ich diese Untersuchung[2].

Soll eine Schraube beim Nachlassen der bewegenden Kraft von selbst zurückgehn, so muſs die Höhe der Schraubengänge so groſs seyn, daſs die Last von selbst auf der geneigten Ebene herabgleitet. Da aber die Reibung die Anwendung von mehr als der ganzen Kraft erfordert oder diese um mehr als das Doppelte vergröſsert, so folgt hieraus, daſs ein doppeltes Schraubengewinde hierzu nicht genügt. Man giebt also solchen Schrauben, z. B. bei den Papierpressen und Münzpressen, ein dreifaches und bei starker Reibung auch wohl ein vierfaches Gewinde.

Die ausnehmend zahlreichen Anwendungen der Schraube

---

1 Nach Lehmus in v. Crelle Journ. Bd. IV. S. 202. ist die Gleichung zwischen Kraft und Last bei der Schraube mit Rücksicht auf Reibung:

$$Q = \frac{h + \mu . 2 r \pi}{2 b \pi - \mu h} P,$$

wenn Q, P und h die angenommene Bedeutung behalten, r den Halbmesser der Spindel, b die Länge des umdrehenden Hebels und μ den Reibungscoefficienten bezeichnen. Analytische Untersuchungen über die Reibung männlicher und weiblicher Schrauben von Poncelet findet man ebend. Bd. II. S. 233.

2 S. v. Gerstner a. a. O. Th. I. S. 525. Die gehaltreichen Untersuchungen von Bevan über die Stärke, womit Holzschrauben festhalten, in Philos. Mag. and Ann. II. 291. Ann. Ch. Ph. XXXVI. 419. erwähne ich nur beiläufig.

Digitized by Google

bieten dem gröſsten Theile nach kein bedeutendes Interesse dar und es verlohnt sich nicht der Mühe, sie einzeln aufzuzählen oder genau zu beschreiben. Am meisten werden sie zu den zahlreichen Pressen angewandt, deren mehrere bereits im Art. *Presse* namhaft gemacht worden sind. Eine kurze Beschreibung verdienen jedoch die mit Schrauben versehenen Winden, da diejenigen, bei denen ein Rad mit Getriebe angebracht ist, gleichfalls namhaft gemacht worden sind [1]. Es giebt zwei Constructionen derselben, die sich nicht wesentlich unterscheiden; doch wird die eine die französische, die andere die englische genannt, weil sie in beiden Ländern am meisten gebräuchlich sind. Die *französische Winde* (Cric) hat das Gestell nebst dem obern Fig. 275.
und untern Träger p f und g k mit den deutschen gemein, ausgenommen daſs der obere in 4 Spitzen ausläuft und der untere gleichfalls zwei aufstehende Haken hat, wovon jedoch nur der eine an der einen Seite in der Zeichnung ausgedrückt werden konnte. Auf der festen Unterlage n o ruht dann der abgekürzte Kegel mit der in ihm geschnittenen weiblichen Schraube. Sein oberer Rand ist in Zähne von geeigneter Gestalt ausgeschnitten, in welche die Windungen der Schraube Fig. 276.
ohne Ende a b eingreifen. Zu gröſserer Deutlichkeit ist dieser unterscheidende Haupttheil der Maschine durch eine besondere Zeichnung deutlich gemacht.

Die *englische Winde* oder der englische Heber (*Jack*) hat eine Einrichtung, die sie geeignet macht, die schwersten Lasten zu heben, weswegen sie auch vorzugsweise zum Aufwinden der Dachstühle und zum Heben sonstiger schwerer Lasten angewandt wird. Der Körper und die Tragstange, auf welche die männliche Schraube geschnitten wird, sind wie Fig. 277.
bei allen Winden, jedoch hat der Körper unten keine Spitzen, sondern ruht auf einer groſsen Fläche, da bei dem Heben so bedeutender Lasten ein Ausgleiten nicht so leicht zu fürchten ist, zu dessen Vermeidung beim schrägen Stande der Winde die Zacken unten angebracht zu werden pflegen. In der obern Fläche ist ein starkes und groſses gezahntes Rad versenkt, in dessen geeignet geschnittene Zähne die Windungen der Schrau- Fig. 278.
be ohne Ende a b eingreifen. In der bedeutend dickeren Mitte dieses auf breiter Unterlage ruhenden Rades ist die weibliche

1 S. Art. *Rad.* Bd. VII. S. 1160.

Digitized by Google

Schraube eingeschnitten, durch deren Umdrehung um die Windenstange diese mit der auf ihr liegenden Last gehoben wird.

Zur Berechnung beider Winden möge zuerst die Bezeichnung der Gröſsen für die Schraube ohne Ende beibehalten werden; es sey dann W der Widerstand an der Schraubenspindel, der Halbmesser des horizontalen Rades $= \varrho$, der Halbmesser der Schraubenspindel $=$ r und die Höhe eines Schraubenganges derselben $= h'$, die ganze zu hebende Last $= P'$, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P &= h : 2\pi R \\ P : W &= r : \varrho \\ W : P' &= h' : 2\pi r \\ \hline Q : P' &= h \times h' : 2\pi R \times 2\pi r. \end{aligned}$$

Ist z. B. R = 12 Zoll, r = 8 Z., $h = \frac{2}{3}$ Z. und $h' = 1{,}5$ Zoll, so erhält man

$$\begin{aligned} Q : P' &= \tfrac{2}{3} \times \tfrac{3}{2} : 6{,}283 \times 12 \times 6{,}283 \times 8. \\ &= 1 \quad : 3789{,}7. \end{aligned}$$

Man sieht hieraus, was für eine enorme Kraftvermehrung diese Maschinen geben, wenn man die Reibung unberücksichtigt läſst. Die Reibung ist hierbei aber noch gröſser, als bei der einfachen Schraube, denn sie kommt bei beiden Schrauben vor und auſserdem bei den Zapfen der Schraube ohne Ende, vorzüglich aber wächst sie durch diejenige, welche die Scheibe mit der Schraubenmutter erleidet, auf welcher die ganze Last ruht, so daſs nach v. Gerstner die erforderliche Kraft durch die gesammte Reibung ungefähr siebenmal so groſs wird, als sie ohne dieselbe seyn würde.

M.

Schwefel.

Sulphur; Soufre; *Sulphur*. Dieses seit undenklichen Zeiten bekannte, nicht metallische Element findet sich vorzüglich im gediegenen Zustande, in vielen Schwefelmetallen und in schwefelsauren Salzen. Der gediegene Schwefel wird durch Destillation von beigemengter Erde befreit. Aus Schwefelkies und Kupferkies gewinnt man den Schwefel theils durch Rösten, theils durch Erhitzen in irdenen Röhren. Doch

Digitized by Google

bedarf er noch der Reinigung von beigemengten Erz- und Steintheilchen entweder durch Schmelzen, Subsidiren und Decantiren, oder durch Destillation oder durch Sublimation. Der geschmolzene oder der destillirte Schwefel, in Stangenform gebracht, liefert den Stangenschwefel; der sublimirte stellt die Schwefelblumen dar, welchen man die anhängende Säure durch Wasser entziehn kann.

Der Schwefel krystallisirt theils in schiefen rhombischen Oktaëdern, theils, namentlich beim Erkalten nach der Schmelzung, in schiefen rhombischen Säulen, ist also dimorph[1]. Er hat ein spec. Gewicht von 2,000, ist sehr spröde und knistert beim Erwärmen in der Hand durch Bildung von Rissen. Seine blaſsgrünlichgelbe Farbe geht bei jedesmaligem Erhitzen in die gelbbraune über; seine lichtbrechende Kraft ist bedeutend. Er schmilzt bei 109° zu einer braungelben öligen Flüssigkeit, wird bei 144° dunkelrothbraun und dickflüssig, wie Terpentin, bei höherer Temperatur wieder dünnflüssiger, und kommt bei 293° ins Sieden, wobei er sich in einen pomeranzengelben Dampf verwandelt. Er leitet nicht die Elektricität und wird beim Reiben stark negativ elektrisch.

Der Schwefel bildet mit Sauerstoff 4 Säuren: die *unterschwefelige Säure* (16 Schwefel auf 8 Sauerstoff) ist nur in einigen Salzen bekannt, aus denen sie durch eine stärkere Säure geschieden sogleich in schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zerfällt.

Die schwefelige Säure (16 Schwefel auf 16 Sauerstoff) entsteht vorzüglich beim Verbrennen des Schwefels. Unter — 10° ist sie eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit von 1,42 bis 1,45 spec. Gewicht. Da ihr Siedepunct schon bei — 10° C. liegt, so veranlaſst ihre Vergasung, besonders im luftleeren Raume, eine bedeutende Erkältung, wodurch sie selbst zum Theil zu weiſsen Flocken gefriert. Bei gewöhnlicher Temperatur erscheint die schwefelige Säure als ein farbloses Gas von 2,2186 spec. Gewicht, von dem bekannten erstickenden Geruche des verbrennenden Schwefels, Lackmus röthend, mit einigen andern organischen Farbstoffen farblose Verbindungen eingehend und von $\frac{1}{40}$ Maſs Wasser verschluckbar. Ihre Verbindungen mit Salzbasen werden in der Glühhitze

1 Vergl. *Krystallogenie*. Bd. V. S. 1351.

sämmtlich zerstört; der Luft im befeuchteten Zustande dargeboten verwandeln sie sich in schwefelsaure Salze; mit stärkerer Säure übergossen entwickeln sie die durch ihren Geruch kenntliche schwefelige Säure.

Die *Unterschwefelsäure* (16 Schwefel auf 20 Sauerstoff) ist nur in ihren Verbindungen mit Wasser und Salzbasen bekannt. Das Hydrat ist eine farblose, schwere, sehr saure Flüssigkeit, welche bei gelindem Erhitzen in sich entwickelnde schwefelige Säure und zurückbleibendes Schwefelsäurehydrat zerfällt. Alle unterschwefelsauren Salze sind im Wasser löslich und zerfallen beim Erhitzen, auf ähnliche Weise wie das Hydrat, in schwefligsaures Gas und schwefelsaures Salz.

Die *Schwefelsäure* (16 Schwefel auf 24 Sauerstoff) sublimirt sich beim Erhitzen des rauchenden Vitriolöls in einer Retorte im wasserfreien Zustande als eine aus weiſsen, seidenglänzenden, zarten Nadeln bestehende, amianthartige, zähe, höchst saure und ätzende Masse, von 1,95 spec. Gewicht, bei 24° zu einer öligen Flüssigkeit schmelzend, bei etwas höherer Temperatur einen farblosen Dampf bildend, der jedoch an der Luft, mit deren Feuchtigkeit sich die Schwefelsäure zu Vitriolöl verdichtet, einen äuſserst dicken, weiſsen, erstickenden Nebel erzeugt. Die Schwefelsäure hat eine sehr groſse Affinität zum Wasser, verbindet sich mit demselben unter heftiger Wärmeentwickelung und Zischen und zieht es begierig aus der Luft an. Mit wenig Wasser bildet sie die concentrirte Schwefelsäure oder das Vitriolöl, mit mehr Wasser die verdünnte Schwefelsäure. Man unterscheidet rauchendes, braunes oder deutsches und weiſses oder englisches Vitriolöl. Ersteres wird durch Destillation des vorher an der Luft gerösteten und dadurch in schwefelsaures Eisenoxyd verwandelten Eisenvitriols[1] in irdenen Retorten erhalten; letzteres durch Verbrennen des Schwefels in groſsen, meist mit Bleiplatten ausgekleideten Behältern, den Bleihäusern, die Luft, salpetrige Säure und Wasser enthalten, durch deren gemeinschaftliche Wirkung die durch das Verbrennen des Schwefels gebildete schwefelige Säure in Schwefelsäure verwandelt wird. Diese mischt sich dem auf dem Boden des Bleihauses befindlichen Wasser bei, welches, so oft es hinreichend damit beladen ist,

1 S. *Eisen.* Bd. III. S. 158.

in Gefäſsen von Glas oder Platin bis zur möglichsten Concentration abgedampft wird. Das rauchende Vitriolöl ist hellbraun, von 1,896 oder weniger spec. Gewicht, gefriert schon etwas über 0°, ſtöſst, besonders beim Erwärmen, Dämpfe waſserfreier Schwefelsäure aus und geht daher bei fortgesetztem Erhitzen in gewöhnliches, nicht rauchendes Vitriolöl über. Das englische Vitriolöl, welches etwas mehr Wasser enthält, ist farblos oder sehr blaſsbraun, von 1,845 spec. Gewicht, gefriert erst bei — 25°, raucht nicht an der Luſt, siedet bei 327° und verdampft hierbei als Ganzes; hält es, wie dieses oft der Fall ist, noch mehr Wasser, so verflüchtigt sich dieses zuerst. Zu manchen Zwecken wird das Vitriolöl durch Destillation gereinigt, rectificirt, wobei man das zuerst Uebergehende entfernt.

Alle Arten von *Vitriolöl* sind ölartig, schwärzen und zerfressen Holz und andere organische Stoffe und mischen sich mit Wasser unter bedeutender Erhitzung, die verdünnte Schwefelsäure bildend, deren spec. Gewicht mit ihrem Gehalte an Schwefelsäure abnimmt. Die Schwefelsäure hat gegen die Salzbasen eine der gröſsten Affinitäten. Die meisten schwefelsauren Salze halten für sich die Glühhitze ohne Zersetzung aus, werden aber in Berührung mit Kohle und andern brennbaren Stoffen zersetzt und meistens zu Schwefelmetallen reducirt. Die am wenigsten in Wasser löslichen schwefelsauren Salze sind die des Baryts, Strontians und Bleioxyds, besonders der schwefelsaure Baryt, daher lösliche Barytsalze häuſig als Reagentien für Schwefelsäure und umgekehrt Schwefelsäure für Baryt angewandt werden.

Mit Wasserstoff erzeugt der Schwefel folgende 2 Säuren: *Die hydrothionige Säure* (80 Schwefel auf 1 Wasserstoff) ist eine schwere, ölige, bräunlichgelbe, durchsichtige Flüſsigkeit, von Schwefelgeruch und heiſsem bitterem Geschmack, leicht in sich entwickelnde Hydrothionsäure und zurückbleibenden Schwefel zerfallend, nicht in Wasser löslich. Von ihren Salzen kennt man bloſs die hydrothionigsauren Alkalien, welche in wässeriger Gestalt gelbbraune Flüssigkeiten darstellen, durch den Sauerstoff der Luſt unter Fällung von Schwefel in unterschwefeligsaure Alkalien sich verwandelnd und bei Zusatz überschüssiger Salzsäure die unzersetzte hydrothionige

Säure absetzend, während durch weniger Salzsäure unter Entwickelung von Hydrothionsäure Schwefel gefällt wird.

Die *Hydrothionsäure* oder *Schwefelwasserstoffsäure* (16 Schwefel auf 1 Wasserstoff) wird vorzüglich durch Auflösung eines schicklichen Schwefelmetalls, z. B. des Schwefeleisens, in wässeriger Salz- oder Schwefelsäure erhalten. Läſst man die Salzsäure auf das Schwefeleisen nach Faraday's Art in dem einen Schenkel einer starken zugeschmolzenen Glasröhre einwirken, so sammelt sich in dem andern erkälteten Ende derselben die Hydrothionsäure als eine wasserhelle, tropfbare Flüssigkeit, nach Faraday von 0,9, nach Niemann von nur 0,6 spec. Gewicht, dennoch an lichtbrechender Kraft das Wasser übertreffend. Bei gewöhnlichem Luftdruck erscheint die Hydrothionsäure als ein farbloses Gas von 1,1786 spec. Gewicht, von widerlichem Geruch und von narkotisch erstickender Wirkung beim Einathmen, mit blaſsblauer Flamme verbrennbar. 1 Maſs Wasser absorbirt gegen 3 Maſs dieses Gases, die wässerige Hydrothionsäure oder das Schwefelwasserstoffwasser bildend, eine farblose Flüssigkeit von süſslichem Geschmak und schwacher Lackmus röthender Wirkung, aus welcher beim Luftzutritt unter Oxydation des Wasserstoffs der Schwefel niedergeschlagen wird. Die hydrothionsauren Alkalien sind farblos; sie verwandeln sich, bei abgehaltener Luft erhitzt, unter Wasserentwickelung in Schwefelmetalle; durch die oxydirende Wirkung der Luft gehn sie zuerst in hydrothionigsaure, dann in unterschwefeligsaure Salze über; mit fast allen Säuren entwickeln sie die Hydrothionsäure in Gasgestalt, Verbindungen der Hydrothionsäure mit schweren Metalloxyden scheinen nur wenige zu existiren, weil sich die Säure mit den meisten derselben augenblicklich in Wasser und Schwefelmetall zersetzt, daher sie auch aus vielen Auflösungen derselben in Säuren Schwefelmetalle fällt, die durch besondere, meist dunkle Farben ausgezeichnet sind, so daſs sie deshalb ein wichtiges Reagens für die schweren Metalle abgiebt.

Der *Chlorschwefel* (32 Schwefel auf 36 Chlor) ist eine gelbbraune, schwere, leicht verdampfbare, an der Luft einen dicken, heftig riechenden Nebel ausstoſsende Flüssigkeit, durch Wasser in Salzsäure, schwefelige Säure und niederfallenden Schwefel zersetzbar. Der *Bromschwefel* ist ebenfalls flüssig

und dunkelroth. Der *Iodschwefel* ist schwarzgrau, metallglänzend, strahlig. Der *Selenschwefel* ist pomeranzengelb und leicht schmelzbar[1]. Der Schwefel vereinigt sich mit allen Metallen, mit vielen unter Feuerentwickelung. Die Schwefelmetalle sind fest und spröde und theils durchsichtig, theils metallglänzend. Die meisten Schwefelmetalle bleiben, für sich erhitzt, unverändert, während bei Luftzutritt Oxydation des Schwefels und zum Theil auch des Metalls erfolgt. Mehrere sind im Wasser zu hydrothionsauren Metalloxyden löslich.

G.

Schwere.

Gravitas; Gravité, Pesanteur; *Gravity.*

Man unterscheidet nicht selten die *Schwere der Himmelskörper* und der *Körper auf der Erde*, und bei den letzteren ihre *absolute*, *relative* und *specifische* Schwere, wonach sie also absolut, relativ und specifisch schwer genannt werden. Um einer hieraus nothwendig folgenden, dem Wesen der Sache widerstreitenden Unbestimmtheit der Begriffe zu entgehn, ist es am besten, die in diesem Werke gleich anfangs festgesetzte Bedeutung der Worte[2] allgemein beizubehalten. Hiernach ist die *Schwere* nichts anders, als die Wirkung der Anziehung, welche der Erdball gegen alle ihm zugehörige und in (verhältniſsmäſsig zum Halbmesser) geringer Entfernung von demselben befindliche Körper ausübt. Mit ihr dem Wesen nach identisch ist zwar die gegenseitige Wirkung der Attraction aller Weltkörper, die nach Newton sogenannte *allgemeine Schwere*, allein man nennt diese letztere auch *Gravitation*, welcher Sprachgebrauch am besten beibehalten wird. Diesemnach giebt es also keine absolute, relative und specifische Schwere, wohl aber ein absolutes, relatives und specifisches *Gewicht*[3]; bis jetzt aber erlaubt der Sprachgebrauch noch nicht, die verschiedenen Körper mit gleicher Consequenz der Wortbedeutungen absolut, relativ und specifisch *gewichtig*

---

1 Die Verbindungen mit Phosphor, Boron und Kohlenstoff s. oben Bd. VII. S. 471. Bd. I. S. 1100. Bd. V. S. 913.

2 S. *Anziehung*. Bd. I. S. 346.

3 Kaestner Anfangsgründe der höhern Mechanik. S. 33.

zu nennen, indem hierfür noch stets das Wort schwer (nicht ganz mit Recht) gebraucht wird, wie aus dem eigentlichen Wesen der Sache von selbst hervorgeht.

Die Erscheinung der Schwere oder des Angezogenwerdens aller sogenannten wägbaren Stoffe durch die Erde zeigt sich überall, indem in Gemäſsheit derselben alle Körper unausgesetzt ein gleichmäſsiges Bestreben äuſsern, wenn sie nicht unterstützt sind, gegen die Erde zu fallen, wenn sie aber auf einer nicht weichenden Unterlage ruhn, stets mit gleicher Stärke gegen diese zu drücken. Beides ist im Wesentlichen gleich, und man kann daher sagen, daſs ein jeder Körper stets und unter allen Umständen, sey er ruhend oder in Bewegung, das Bestreben habe, gegen die Erde zu fallen. Welche Bewegung und in welcher Richtung jeder gegebene Körper daher auch hat, so wird er dem Einflusse der Schwere stets ausgesetzt seyn; er wird ihrer Kraft daher auch folgen, mithin stets nach dem nämlichen Gesetze fallen, sofern diese Wirkung nicht durch anderweitige Hindernisse oder entgegengesetzte Kräfte aufgehoben oder vermindert ist.

Wenn angenommen wird, daſs die Schwere der Körper eine Wirkung der Anziehung sey, welche die Erde gegen dieselben ausübt, so folgt hieraus der wichtige Satz, *daſs alle Materie gleich schwer sey;* denn indem die allen Theilchen der Erde zukommende Anziehung, deren Gesammtwirkung im Mittelpuncte der Erde vereinigt gedacht dasjenige erzeugt, was wir Schwere nennen, auf jedes in mäſsiger Entfernung[1] von der Oberfläche der Erde befindliche Element eines wägbaren Körpers gleichmäſsig wirkt, so muſs bei gleicher Ursache auch die Wirkung gleich, also alle Materie gleich schwer seyn. Sollte eine Ungleichheit der Schwere statt finden, so müſste diese entweder in einem Wechsel der Anziehungskraft von Seiten der Elemente des Erdkörpers oder von Seiten der angezogenen Partikeln gegründet seyn. Das Erstere ist kaum

1 Die Schwere, als Anziehung der Erde vorgestellt, wirkt zwar in jede beliebige Ferne, allein sobald diese eine bedeutende Gröſse erreicht, den Halbmesser der Erde als Einheit angenommen, gilt die Benennung Gravitation. Wollte man bestimmter unterscheiden, so könnte man die Schwere sich bis dahin erstrecken lassen, wo die Körper noch gleichzeitig mit der Erde rotiren, also bis 6,67 Erdhalbmesser.

Digitized by Google

'enkbar, weil sich nicht wohl vorstellen läſst, wie eine der
Iaterie der Erde einmal zukommende Kraft gegen gewisse
ubstanzen nicht statt finden oder eine Modification erleiden
ollte; letzteres ist gleichfalls mindestens nicht wahrscheinlich,
nsofern die Materie bloſs als solche hierbei in Betrachtung
ommt. Man könnte jedoch annehmen, daſs in dieser Hin-
icht eine gleiche Verschiedenheit vorkomme, als sich bei der
nziehung in der chemischen Verwandtschaft zeigt, allein
iergegen streitet der Umstand, daſs bei der Schwere die Ma-
rie bloſs als solche und nicht rücksichtlich ihrer sonstigen
ualitäten in Betrachtung kommt. Newton[1] suchte jedoch
iese Frage auf dem Wege der Erfahrung zu beantworten.
u diesem Ende lieſs er an einer Pendelstange eine hohle
apsel schwingen, füllte diese abwechselnd mit verschiedenen
ıbstanzen, machte die Vorrichtungen so, daſs die bei Pen-
ln zu berücksichtigenden Bedingungen einander völlig gleich
aren, und fand, daſs sie jederzeit gleiche Schwingungszei-
n einhielten, wonach also die sämmtlichen geprüften Kör-
r gleich schwer seyn muſsten. Verschiedene Gelehrte ha-
n seitdem die Frage aufgeworfen, ob nicht solche Körper,
e auſser der Schwere auch durch die magnetische Kraft nach
r Erde hin gezogen werden, sich als schwerer zeigen, al-
in wegen der Schwierigkeit, solche Versuche anzustellen,
gnügte man sich stets mit den durch Newton erhaltenen
sultaten. Neuerdings hat indeſs Bessel[2], dessen ausneh-
ende Genauigkeit und Uebung in der Behandlung der Pen-
l sattsam bekannt sind, jene Versuche mit gewohnter Sorg-
lt wiederholt, dabei sowohl magnetisches als auch unmagne-
ches Eisen und selbst auch Meteorsteinmasse angewandt, alle
örper aber gleich schwer gefunden, so daſs der Satz, *alle
aterie ist gleich schwer*, jetzt durch Theorie und Erfahrung
t begründet ist.

Wird die Gesammtwirkung der Anziehung der Erde ge-
ı ein Körperelement = w angenommen und besteht ein
gebener Körper aus n solchen Elementen, so ist seine Schwere
n w; besteht ein anderer Körper aus m derselben, so ist
= m w. Wollte man hieraus folgern, die Schwere beider

1 Principia. Lib. III. prop. VI. Theor. 6.

2 Astron. Nachrichten. 1832. N. 223. Ausführlicher in G. CI. 401.

verhalte sich wie n:m und müsse also verschieden seyn, so würde dieser Schluſs auf einer falschen Ansicht beruhn. Allerdings ist nämlich bei dem einen Körper die nämliche Kraft w nur n mal, bei dem andern aber m mal thätig, allein dafür müssen auch bei jenem nur n, bei diesem aber m Elemente bewegt werden, und jedes einzelne Element wird daher nur mit einer gleichen Kraft bewegt, kann sich daher nur gleich schwer zeigen, oder in Zeichen ausgedrückt ist die Schwere des einen Körpers $W = \frac{wm}{m}$, des andern $W' = \frac{wn}{n}$, folglich $W = W'$. Die Schwere aller Körper kann sonach nur gleich groſs seyn, sofern jedes ihrer Elemente durch eine gleiche Kraft afficirt wird; wird aber gefragt, mit welcher Kraft jeder dieser Körper gegen ein widerstehendes Hinderniſs vermöge seiner Schwere drücke, so bezieht sich diese Bestimmung offenbar auf die Summe der einzelnen, durch die Schwere afficirten Elemente und muſs daher dieser direct proportional seyn. Die Summe der hierbei wirksamen, durch die Schwere afficirten Elemente heiſst dann das *Gewicht* und, wenn bei der Bestimmung desselben zugleich auf das Verhältniſs seines Volumens zu dem irgend eines andern Körpers Rücksicht genommen wird, das *ſpecifiſche Gewicht.* Es giebt sonach nur eine absolute und unveränderliche Schwere aller Körper, dagegen ein verschiedenes absolutes und auch relatives oder specifisches Gewicht derselben [1].

Von der Anwesenheit und unablässigen Wirksamkeit derjenigen Kraft, die wir hiernach mit dem Ausdruck: *Schwere* bezeichnen, überzeugt uns die tägliche Erfahrung dadurch, daſs alle wägbare Körper das unablässige Bestreben zeigen, sich der Erde zu nähern, oder daſs sie ohne vorhandenes Hinderniſs stets gegen dieselbe fallen. Ob die hierbei wirksame Kraft bloſs unserer Erde angehöre, oder sich auch auf andern Himmelskörpern thätig zeige, war lange Zeit zweifelhaft, und konnte überhaupt erst zur nähern Untersuchung kommen, nachdem Galileo Galilaei vermittelst der eben entdeckten Fernröhre aufgefunden hatte, daſs der Mond, die

1 Ueber die Schwierigkeiten, die rücksichtlich der in der Stöchiometrie angenommenen ungleichen Atomengewichte aus dieser Vorstellung hervorgehn, ist im Art. *Materie* gehandelt.

Digitized by Google

Sonne und die Planeten sphäroidische, um ihre Axe rotirende Körper und hiernach also unserer Erde ähnlich seyen. Newton brachte es zur Gewiſsheit, daſs die nämliche und nach gleichen Gesetzen wirksame Kraft, welche die Körper gegen unsere Erde fallen macht, allen zu unserm Sonnensysteme gehörigen Körpern eigen ist und in Verbindung mit der Schwungkraft, vermöge deren sie in der Tangente ihrer Bahnen in Folge der Trägheit sich fortzubewegen streben, ihren steten Umlauf um einander bedingt. Die verwickelten Bahnen zu construiren, in denen diese Körper sich hiernach in Folge der Trägheit und gegenseitigen Anziehung bewegen müssen, ist die vorzüglichste Aufgabe der Astronomie, und zwar des speciellen Zweiges derselben, den man die Mechanik des Himmels nennt. Diese, durch Newton genauer bezeichnete, der Masse direct und den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportionale Anziehung heiſst die *Newton'sche Attraction*[1]. Ob diese sogenannte *allgemeine Schwere* durch die gesammten unermeſslichen Himmelsräume wirksam sey, ist zwar noch nicht durch Erfahrung ausgemittelt, auf jeden Fall aber sehr wahrscheinlich; gleich schwierig und der Entscheidung künftiger Zeiten vorbehalten ist aber die Frage, ob die Bewegungen der Himmelskörper durch diese allgemeine Schwere in Verbindung mit der Trägheit allein bedingt werden, oder ob noch andere Kräfte dabei thätig sind, die einige Gelehrte nicht ohne scheinbaren Grund in der magnetischen Anziehung finden wollten.

Wenn man die Schwere als eine Kraft betrachtet, welche durch die einem jeden Körperelemente zukommende Anziehung erzeugt wird, so muſs sie jedem Körper eigen und der Masse desselben direct proportional seyn. Hiernach wird also die Erde nicht bloſs jeden im Bereiche dieser ihrer Kraft befindlichen Körper anziehn, sondern auch von ihm wieder angezogen werden, der Körper wird daher nicht bloſs gegen sie, sondern sie selbst wird zugleich gegen den Körper zu fallen streben. Bei den gröſsern Himmelskörpern ist dieses allerdings zu berücksichtigen und zeigt sich auch namentlich bei der Ebbe und Fluth, die irdischen Körper sind jedoch meistens an Masse zu gering, so daſs diese ihre Wirkung

1 Vergl. La Place Système du monde T. II. p. 1 ff.

Digitized by Google

verschwindet; bloſs bei der Anziehung des Bleiloths durch groſse Gebirgsmassen wird sie wahrnehmbar[1].

Den Hauptsatz der Schwere, daſs ein Körperelement (*corpusculum*), welches auſserhalb einer Kugelfläche liegt, wenn es nach allen Puncten derselben gravitirt, vom Centrum der Kugel mit einer dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportionalen Kraft angezogen werde, hat Newton[2] auf eine elementare Weise zu begründen gesucht. Es seyen a h k b und
Fig. 279. A H K B zwei Sphären von gleichen Durchmessern; p und P die zwei Puncte auſserhalb derselben in ihren verlängerten Durchmessern a b, A B. Man ziehe die Linien pk und PK, pl und PL, welche gleiche Segmente hk und HK, il und IL abschneiden, so liegt zwischen diesen der verschwindend kleine Bogen kl und KL. Aus dem Mittelpuncte der Kugel fälle man die Perpendikel se und SE, sd und SD auf pl und PL, pk und PK, ferner iq und IQ auf pb und PB, ir und IR auf pk und PK. Nimmt man die Winkel dpe und DPE als verschwindend klein an, so ist $sd = SD$ und $se = SE$, man kann also $pe = pf$, $PE = PF$, $df = DF$ annehmen, indem ihre Grenze beim Verschwinden der genannten Winkel das Verhältniſs der Gleichheit ist. Dieses angenommen hat man:

$$\begin{array}{l} PI : PF = RI : DF \\ pf : pi = (df = DF) : ri \\ \hline PI.pf : PF.pi = RI : ri. \end{array}$$

oder die Bogen statt der Tangenten genommen $= IH : ih$.

$$\begin{array}{l} PI : PS = IQ : SE. \\ ps : pi = (se = SE) : iq. \\ \hline PI.ps : PS.pi = IQ : iq. \end{array}$$

Beide Verhältnisse verbunden geben

$$PI^2.pf.ps : pi^2.PF.PS = RI.IQ : ri.iq.$$
$$= IH.IQ : ih.iq.$$

Es drückt aber $IH.IQ : ih.iq$ das Verhältniſs der zu den Bogen IH und ih gehörigen Kugelstreifen aus, die durch Umdrehung der beiden Figuren akb und AKB um die Axen pb

1 Vergl. Art. *Erde*. Bd. III. S. 944.

2 Phil. Nat. Princ. I. Sect. XII. Prop. LXXI. Theor. XXXI. p. 269. ed. Tessanek.

und PB erzeugt werden. Die Kräfte aber, womit beide Kugelſtreifen die auſser ihnen liegenden Puncte p und P anziehn, sind nach der Hypotheſe der Gravitation den Flächen direct und den Quadraten der Entfernungen umgekehrt proportional, welches dadurch ausgedrückt wird, daſs

$$\frac{IH.IQ}{PI^2} : \frac{ih.iq}{pi^2} = pf.ps : PF.PS.$$

Aus der Anziehung nach pi und PI folgt aber vermöge der Zerlegung der Kräfte die Anziehung in der Richtung der Durchmesser

$$\frac{PQ}{PI} = \frac{PF}{PS} \text{ und } \frac{pq}{pi} = \frac{pf}{ps},$$

daher ist das Verhältniſs der Anziehungen beider Kugelſtreifen gegen die Puncte P und p in der Richtung der Axen AB und ab

$$\frac{PF.pf.ps}{PS} : \frac{pf.PF.PS}{ps} = ps^2 : PS^2.$$

Auf gleiche Weiſe läſst sich der Satz für die zu den Bogen KL und kl gehörigen Kugelſtreifen beweiſen und ſofort für alle Kugelſtreifen, alſo auch für ihre Summe oder für die Kugeloberfläche und ſomit für die ganze Kugel, wenn man dieſe aus lauter dünnen Kugelflächen beſtehend annimmt.

Man überſieht jedoch bald, daſs dieſer Beweis auf der Gleichheit von df und DF beruht, welche aber nur dann ſtatt findet, wenn die Entfernungen der Puncte p und P gegen die Halbmeſſer der Kugeln beträchtlich groſs ſind, ſonſt aber kann derſelbe nicht unbedingt angenommen werden. G. G. Schmidt[1] hat dieſes näher gezeigt und einen andern eleganten Beweis für dieſen Newton'ſchen Hauptſatz geliefert.

Man nehme ein verſchwindendes ringförmiges Element der Kreisfläche abd, wovon jedes Element den auſserhalb gelegenen Punct p nach der Richtung ap, bp u. s. w. anzieht. Hieraus entſteht eine nach pc ziehende Kraft, welche ſich zu dem ſchiefen Zuge wie pc:pa verhält. Es ſey dann der Halbmeſſer des Kreiſes $= x$, die Entfernung $pc = a$, ſo iſt $pa = \sqrt{a^2 + x^2}$. Das kleine ringförmige Element iſt $= 2x\,dx\,\pi$, und ſofern die Kraft der Anziehung dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional genommen wird, die erhaltene Fig. 280.

1 Münchener Denkſchr. 1808. S. 291.

Gröſse aber im Verhältniſs von p c : p a zu nehmen ist, wird der lothrechte Zug des verschwindenden Elements

$$=\frac{2xdx\pi}{a^2+x^2}\times\frac{a}{\sqrt{a^2+x^2}}.$$

Hiervon das Integral genommen giebt die Anziehung der Kreisfläche gegen den Punct c

$$\int 2a\pi\,(a^2+x^2)^{-\frac{3}{2}}x\,dx=\frac{-2\pi a}{\sqrt{a^2+x^2}}+C.$$

Soll dieses Integral für $x=0$ verschwinden, so wird $C=2\pi$ und das vollständige Integral

$$=2\pi\left(1-\frac{a}{\sqrt{a^2+x^2}}\right).$$

Fig. 281. Um hieraus die Anziehung einer Kugel zu finden, sey a d b e eine Kugel, in deren verlängertem Durchmesser sich der angezogene Punct p befindet. Es sey a b ein auf den Durchmesser der Kugel senkrechter Kreis vom Halbmesser $cb=y$, die Entfernung d c vom Pole d sey $=x$, die Entfernung des Poles d vom Puncte p sey $=a$, so ist die Anziehung der Fläche, wenn in der oben gefundenen Formel $a+x$ statt a und y anstatt x gesetzt wird,

$$2\pi\left(1-\frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+y^2}}\right).$$

Man findet dann die Anziehung eines beliebigen Kugelabschnittes gegen den Punct p, wenn man dieses Integral mit d x multiplicirt, aus der bekannten Gleichung für den Kreis $y^2=2rx-x^2$ setzt und das Integral so nimmt, daſs es für $x=0$ verschwindet. Das Differential des Anziehung des Kugelabschnittes ist sonach

$$2\pi dx-\frac{2\pi(a+x)dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}}.$$

Um das Integral für den zweiten Theil dieses Differentials zu erhalten, setze man

$$\frac{x\,dx}{\sqrt{a^2+2(a+r)x}}=\frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha+\beta x}}$$

und $(\alpha+\beta x)^{-\frac{1}{2}}=z$, also $(\alpha+\beta x)^{\frac{1}{2}}=z^{-1}$,

so wird

$$x = \frac{z^{-2} - \alpha}{\beta} \text{ und } dx = -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz,$$

wonach

$$\frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha + \beta x}} = \frac{z^{-2} - \alpha}{\beta} \times -\frac{2}{\beta} z^{-3} dz \times z$$

$$= -\frac{2}{\beta^2} (z^{-2} - \alpha)\, z^{-2}\, dz$$

$$= \frac{-2z^{-4} dz + 2\alpha z^{-2} dz}{\beta^2},$$

und diesemnach ist

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{\alpha + \beta x}} = \frac{\frac{2}{3} z^{-3} - 2\alpha z^{-1}}{\beta^2}.$$

Hierin die Werthe für α und β und z substituirt giebt

$$\int \frac{x\,dx}{\sqrt{a^2 + 2(a+r)x}} = \frac{\frac{2}{3}[a^2 + 2(a+r)x]^{\frac{3}{2}} - 2a^2[a^2 + 2(a+r)x]^{\frac{1}{2}}}{4(a+r)^2},$$

$$\int \frac{a\,dx}{\sqrt{a^2 + 2(a+r)x}} = \frac{a}{a+r}\sqrt{a^2 + 2(a+r)x},$$

$$\int dx = x,$$

wodurch die drei Integrale der obern Differentialgleichung gegeben sind. Zieht man die beiden erstern von letzterer ab, multiplicirt mit 2π und setzt die gehörige Constante für $x = 0$ hinzu, so erhält man die Anziehung des Kugelabschnittes

$$2\pi\left\{x - \sqrt{(a^2 + 2(a+r)x)}\left(\frac{\frac{2}{3}(a^2 + 2(a+r)x) + 2a^2 + 4ar}{4(a+r)^2}\right) + \frac{a(\frac{8}{3}a^2 + 4ar)}{4(a+r)^2}\right\}.$$

Um die Anziehung der ganzen Kugel zu erhalten, darf man nur $x = 2r$ setzen, welches, wenn man wegstreicht, was sich aufhebt, giebt

$$\frac{\frac{4}{3} r^3 \pi}{(a+r)^2}.$$

Es ist aber der Zähler dieses Bruches der Ausdruck für den Inhalt der Kugel und $a + r$ die Entfernung des Punctes p vom Mittelpuncte der Kugel, woraus sich also ergiebt, daſs durch die Anziehung jedes einzelnen Elements einer Kugel, gleiche Dichtigkeit aller ihrer Elemente vorausgesetzt, eine Anziehung nach ihrem Mittelpuncte entsteht, welche der Masse direct und dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional ist,

Digitized by Google

der Abstand des angezogenen Körpers sey gering oder groſs gegen den Halbmesser der Kugel[1].

Aus dieser Gleichung folgt auſserdem, daſs die Anziehung eines Punctes durch eine Kugel, oder bei der Erde die Schwere, als Folge der Anziehung jedes einzelnen ihrer Elemente in ihrer Oberfläche am stärksten sey. Kommt der angezogene Körper von hier an dem Mittelpuncte näher, so wird $a = 0$ und r wird kleiner, oder es findet stets die Anziehung einer kleinern Kugel statt, bis diese selbst mit dem Verschwinden von r verschwindet und mit ihr zugleich die Anziehung, die daher im Centrum selbst $= 0$ seyn muſs. Es erscheinen hiernach zugleich alle äuſsere Kugelschichten als unwirksam rücksichtlich des angezogenen Punctes, und so verhält es sich auch in der Wirklichkeit, wie Newton[2] zuerst gezeigt hat und nach ihm mehrere Geometer durch den höhern Calcül darthaten, wie z. B. La Place[3] und Poisson[4], indem sie bewiesen, daſs die Anziehung einer gleichmäſsig dichten und dicken hohlen Kugel gegen jeden Punct in ihrem Innern $= 0$ ist. Einen sehr leichten elementaren Beweis giebt
Fig. folgende Betrachtung[5]. Es sey ABCD der Durchschnitt einer dünnen, anziehenden Kugelschicht, M der in ihrem Innern liegende angezogene Punct, no und NO bezeichnen kleine, auf der Oberfläche der Kugelschicht befindliche Kreisflächen und MN ist zweimal so groſs als Mn, so ist NO viermal so groſs als no, wie es denn neunmal so groſs wird, wenn MN dreimal so groſs als Mn ist. Unter der Voraussetzung einer der Masse direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Anziehung muſs die viermal so groſse Masse in der doppelten Entfernung ebenso stark ziehn, als die einfache in der einfachen, ebenso die neunfache Masse in der dreifachen Entfernung u. s. w., und da dieses allgemein gilt, so heben sich die Anziehungen von NO und no auf den Punct M einander auf. Der Punct M wird

1 Ein gleiches Resultat auf einem andern Wege erhält Poisson in Traité de Méc. T. II. p. 323 bis 325.

2 Princ. Lib. I. prop. LXX.

3 Mém. de l'Acad. 1782. p. 120.

4 Traité de Méc. T. II. p. 25.

5 Vergl. *Brandes* Vorlesungen Th. I. p. 86.

Digitized by Google

daher nach keiner Seite hin bewegt, und dieses gilt auch für eine Kugelschicht von gröſserer Dicke oder von einer willkürlich groſsen Menge solcher Kugelschichten. Wenn wir also bei der Erde solche Schichten von gleichmäſsiger Dichte annehmen, so wird ihre Anziehung gegen jeden in ihrem Innern befindlichen Punct aufgehoben und es bleibt bloſs die Anziehung der kleinern von ihnen eingeschlossenen Kugel übrig.

Diesemnach nimmt also die Schwere nach dem Innern der Erde hin im einfachen geraden Verhältnisse ihres Halbmessers ab, oder aber, wenn man dieselbe auf der Oberfläche der Erde $= g$, jenen Halbmesser $= r = 1$ nennt und $\frac{m}{n}$ einen ächten Bruch bezeichnet, so wird sie in $\frac{m}{n}$ Entfernung vom Centrum der Erde $= \frac{m}{n} g$ seyn, im Mittelpuncte selbst aber, wo $\frac{m}{n} = 0$ wird, verschwinden[1]. Heiſst dagegen die Entfernung von der Oberfläche der Erde $= x$, so wird die Schwere g' daselbst $g' = g \cdot \frac{r^2}{(r+x)^2}$ oder, den Halbmesser der Erde $= 1$ angenommen,

$$= g \cdot \frac{1}{(1+x)^2} = g\,(1 - 2x + 3x^2 - 4x^3 + \ldots.)$$

seyn, wofür man für diejenigen Werthe von x, die gegen den Halbmesser der Erde sehr klein sind, mit Vernachlässigung der höhern Potenzen ohne merklichen Fehler $g\,(1 - 2x)$ setzen kann. Ist aber die Schwere $= g'$ für irgend eine Höhe $= h$ über der Oberfläche der Erde gefunden und will man dieselbe $= g''$ für irgend eine andere Höhe $= h'$ finden, so ist

$$g' : g'' = \frac{1}{(r+h)^2} : \frac{1}{(r+h')^2}, \text{ mithin } g'' = g' \left(\frac{r+h}{r+h'}\right)^2.$$

Vermittelst einer gemeinen Waage, wie fein dieselbe auch seyn möchte, läſst sich dieses nicht prüfen, weil sowohl der

---

1 Newton Princ. I. prop. LXXIII. La Place Méc. Cel. L. III. chap. 2., deutsche Ueb. Th. II. S. 63. Brandes Lehrb. d. Gesetze d. Gleichgew. u. s. w. Th. I. S. 144. Langsdorf Handbuch d. Mech. S. 306. u. v. a.

Digitized by Google

zu wägende Körper, als auch die Gewichtsstücke auf gleiche Weise durch die Abnahme der Schwere afficirt werden, wohl aber würde eine feine Federwaage den Unterschied anzugeben vermögen, welcher jedoch vermittelst des Pendels auf eine leichtere und sichere Weise erwiesen ist[1]. Die Abnahme der Schwere bei gröſserer Annäherung zu ihrem Mittelpuncte würde sich gleichfalls durch diese Mittel leicht erweisen lassen, wenn es nicht so schwierig wäre, Versuche in hinlänglicher Tiefe unter der Oberfläche der Erde anzustellen.

Bei allen diesen Demonstrationen ist die Erde als eine Kugel von gleichmäſsiger Dichtigkeit aller ihrer Theile angenommen, welches zwar weder möglich, noch auch mit anderweitigen Beobachtungen übereinstimmend ist. Wäre dieses aber der Fall, wie man wegen ihrer geringen Excentricität zur leichtern Demonstration meistens anfangs anzunehmen pflegt, so müſste die Schwerlinie aller Körper, oder dem Sprachgebrauche nach die *Falllinie* (*Linea propensionis*), aus dem Schwerpuncte jedes Körpers verlängert in den Mittelpunct der Erde treffen. Ein an einem Faden hängender schwerer Körper giebt die Richtung dieser Linie, der lothrechten oder verticalen Linie, an, welche mit der Tangente an die Oberfläche der Erde zwei rechte Winkel bildet oder auf einer berührenden Ebene perpendiculär ist. Bei der Gröſse der Erde ist eine solche berührende Ebene für irdische Messungen beträchtlich groſs und bildet den scheinbaren Horizont oder die horizontale Ebene, so daſs also eine hierauf lothrechte Linie verlängert in das Centrum der Erde, als Kugel gedacht, gelangt. Vermöge der Natur der Flüssigkeiten, namentlich des Wassers, kann das Gleichgewicht jedes einzelnen gleich stark angezogenen Theiles oder der einzelnen Säulen desselben nicht statt finden, wenn sich die Oberflächen nicht in gleichem Abstande vom Mittelpuncte der Erde, als ruhende Kugel gedacht, befinden, wodurch also diejenige Kugelfläche entsteht, wovon kleine Theile wegen der Gröſse der Erde von einer ebenen Fläche nicht merklich abweichen und daher den Seehorizont bilden. Hängen zwei Lothe in einiger Entfernung von ein-

1 Vergl. *Pendel.* Bd. VII. S. 353. und über die Versuche, wodurch man das Newton'sche Gravitationsgesetz widerlegen wollte, Art. *Anziehung*. Bd. I. S. 334.

Digitized by Google

ander herab, so bilden sie einen Winkel, weil die von ihnen bezeichneten Linien verlängert sich im Centro der Erde schneiden. Nimmt man auf die ellipsoidische Gestalt der Erde Rücksicht, bezeichnet e die Excentricität, φ die geographische Breite, r den Radius der Erde, den Halbmesser des Aequators $= 1$ angenommen, ω den Winkel im Innern der Erde für einen gegebenen Raum $=$ k, so ist in Secunden[1]

$$\omega = \frac{k}{r \cdot \text{Sin. } 1''} (1 - \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi).$$

Nach den in diesem Werke gefundenen Dimensionen der Erde[2] beträgt die Länge eines Quadranten 1347,667 Meilen und der 324000ste Theil hiervon oder der Bogen, welcher einer Secunde zugehört, 95,484 par. Fuſs. Will man diese Gröſse genauer bestimmen, so beträgt sie nach der Gröſse der Meridiangrade unter dem Aequator 94,519 par. Fuſs und ist also unter irgend einer Breite $= \varphi$

$$94{,}519 \frac{1}{(1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}},$$

wonach sie unter 45° NB = 95,011 und unter dem Pole 95,507 par. Fuſs beträgt, im Aequator aber 95,177 Fuſs. Alle diese Bestimmungen weichen nur wenig von einander ab, und es würde überhaupt den erforderlichen Aufwand nicht belohnen, wenn man diese Gröſse für jeden Punct der Erdoberfläche genau bestimmen wollte, indem es vielmehr bei weitem in den meisten Fällen genügt, sie im Allgemeinen zu 95 Fuſs festzusetzen. Wenn also zwei Lothe in dieser Entfernung von einander herabhängen, so sind sie nicht im strengsten Sinne parallel, sondern divergiren um die Gröſse von einer Secunde. Wären jedoch beide Lothe 100 Fuſs lang, so würde der Abstand zwischen ihren obern und untern Enden doch nur einen Unterschied von 0,0004 Fuſs, also eine nicht wohl meſsbare Gröſse betragen, weswegen beide in der Ausübung für parallel gelten können und auch als solche betrachtet werden.

Die Erde ist keine Kugel, sondern nahe genau ein elliptisches Sphaeroid (*Ellipsoide de révolution*), und die verlängerten *Falllinien* können daher nur unter dem Aequator und unter

---

1 Méthode analytique pour la determ. d'un arc du Merid. par de Lambre. p. 94.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 930.

den Polen in das Centrum der Erde treffen, müssen aber an allen andern Orten in die Ebene des Aequators einschneiden, weil sie die Richtung der Normalen einer Ellipse haben. Huyghens machte diese Bemerkung zuerst und bestimmte den Abweichungswinkel für Paris zu 5′ 45″, Kraft[1] aber berechnete ihn für den ganzen Quadranten und fand das Maximum desselben bei 44° 57′ 1″ = 5′ 57″. Indeſs wird diese Gröſse durch die Abplattung bedingt, wie bereits oben[2] gezeigt worden ist. Es ist nämlich der Winkel, welchen eine aus dem Centrum der Erde bis zu einem Parallel auf ihrer Oberfläche gezogene Linie (der *radius vector*) mit der Ebene des Aequators bildet, die sogenannte *geocentrische Breite* des Ortes, die allezeit kleiner seyn muſs, als die geographische[3]. Nennt man die erstere $= l$, die letztere $= \varphi$, heiſst ferner die halbe Axe $= b$, der Halbmesser des Aequators $= a$ und $\frac{a-b}{a} = \alpha$ die Abplattung, so ist

$$\text{Tang. } l = \frac{b^2}{a^2} \text{ Tang.} \varphi = (1-\alpha)^2 \text{ Tang.} \varphi.$$

Nennt man also $\varphi = l + \lambda$, so wird

$$\text{Tang. } (\varphi - \lambda) = (1-\alpha)^2 \text{ Tang.} \varphi$$

und hieraus

$$\text{Tang.} \lambda = \alpha(1 + \tfrac{1}{2}\alpha) \text{ Sin.} 2\varphi - \tfrac{1}{2}\alpha^2 \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Für eine Abplattung von $\frac{1}{290}$ ist λ am gröſsten bei 44° 54′ 15″ und beträgt 11′ 50″,8. Man kann bei der Kleinheit der Winkel den Winkel λ für diese Abplattung unmittelbar finden, nämlich

$$\lambda = 712'',48 \text{ Sin. } 2\varphi - 1'' \text{ Sin. } 4\varphi.$$

Das letzte Glied ist so klein, daſs es ohne merkliche Aenderung weggelassen werden kann.

Aus dieser Gestalt der Erde folgt, daſs jeder Körper auf ihrer Oberfläche unter verschiedenen Breiten sich in einem ungleichen Abstande vom Centrum der anziehenden Masse befinde und daher ungleich schwer seyn müsse. Untersuchungen, um den hieraus entstehenden Unterschied der Schwere

---

1 Comment. Pet. T. VIII. p. 241.

2 S. *Fall.* Bd. IV. S. 13.

3 J. C. E. Schmidt Lehrbuch der math. und phys. Geographie. Gött. 1829. Th. I. S. 204.

Digitized by Google

zu finden, haben in frühern Zeiten NEWTON[1], MACLAURIN, SIMPSON und vorzüglich CLAIRAUT[2] angeſtellt, die man von P. FRISI[3] zuſammengeſtellt findet. Gegenwärtig wird dieſe Aufgabe durch die höhere Analysis beantwortet, eine einfache geometriſche Darſtellung aber iſt folgende[4]. Da die Normale für einen jeden Punct eines elliptiſchen Meridians der Erde die verlängerte Falllinie und ſomit die Richtung der Schwere bezeichnet, aus den Anziehungsgeſetzen aber folgt, daſs ſich die Schwere unter dem Pole zur Schwere unter dem Aequator verhält, wie der Halbmeſſer des Aequators zur halben Axe[5], oder daſs ſie den Normalen eines jeden Punctes der Erdoberfläche proportional iſt, ſo darf man nur das Verhältniſs dieſer Normalen ſuchen, um daraus das der Schwere zu erhalten.

Es ſey alſo AMB ein elliptiſcher Bogen für die groſse Axe AC und die kleine BC, ſo iſt CM ein Halbmeſſer des Punctes M, deſſen Normale MN iſt. Auf die Erde bezogen drückt AC die Ebene des Aequators, B den Pol und ANM die Polhöhe $= \varphi$ des Punctes M aus. Es ſey dann MP auf AC ſenkrecht und ACM=l, ſo iſt Fig. 282.

$$CM:MN = \text{Sin.}\,CNM : \text{Sin.}\,NCM = \text{Sin.}\,\varphi : \text{Sin.}\,l,$$

$$\text{alſo } MN^2 = \frac{CM^2\ \text{Sin.}^2 l}{\text{Sin.}^2 \varphi} \quad \ldots \quad (1$$

Nach den Eigenſchaften der Ellipſe iſt

$$CP:PN = AC^2:CB^2 = a^2:b^2$$
$$= \text{Tang.}\,PMC : \text{Tang.}\,PMN,$$

$$\text{folglich} \left\{\begin{matrix} \text{cot.}\,ACM : \text{cot.}\,ANM \\ \text{cot.}\,l : \text{cot.}\,\varphi \\ \text{Tang.}\,\varphi : \text{Tang.}\,l \end{matrix}\right\} = a^2:b^2,$$

$$\text{alſo } a^2\ \text{Tang.}\,l = b^2\ \text{Tang.}\,\varphi$$
$$a^4\,(1 + \text{Tang.}^2\,l) = a^4 + b^4\ \text{Tang.}^2\varphi$$
$$a^4\ \text{Sec.}^2\,l = a^4 + b^4\ \text{Tang.}^2\,\varphi$$

---

1 Princ. L. I. prop. XCI. coroll. 3. L. III. prop. XIX.

2 Mém. de l'Acad. 1745. Vergl. Phil. Trans. XL. p. 19.

3 De gravitate univerſali corp. Lib. III. Mediol. 1768. L. II. cap. 2.

4 S. Bohnenberger Aſtron. S. 197.

5 Vergl. LA PLACE Mécan. cel. Liv. III. chap. 2. D. Ueb. Th. II. S. 64.

$$\text{Sec.}^2\, l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}$$

$$\text{oder } \text{Cos.}^2 l = \frac{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}{a^4 \text{Cos.}^2 \varphi + b^4 \text{Sin.}^2 \varphi},$$

und weil $b^2 \text{ Cot.}\, l = a^2 \text{ Cot.}\, \varphi$,

so ist $b^4 (1 + \text{Cot.}^2 l) = b^4 + a^4 \text{ Cot.}^2 \varphi$,

$b^4 \text{Cosec.}^2 l = b^4 + a^4 \text{ Cot.}^2 \varphi$

$$\text{Cosec.}^2 l = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}$$

$$\text{also } \text{Sin.}^2 l = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi}.$$

Diese Werthe in die Gleichung 1 substituirt geben

$$MN^2 = \frac{b^4\, CM^2}{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Cos.}^2 \varphi} \quad . . (2$$

Nach den Eigenschaften der Ellipse ist ferner

$$PM^2 = b^2 - \frac{b^2}{a^2} CP^2 \text{ oder}$$

$$MC^2 \text{Sin.}^2 l = b^2 - \frac{b^2}{a^2} MC^2 \text{Cos.}^2 l$$

$$MC^2 (\text{Sin.}^2 l + \frac{b^2}{a^2} \text{Cos.}^2 l) = b^2$$

$$MC^2 = \frac{a^2\, b^2}{a^2 \text{Sin.}^2 l + b^2 \text{Cos.}^2 l}.$$

Hierin substituirt

$$MC^2 = \frac{b^4 \text{Sin.}^2 \varphi + a^4 \text{Sin.}^2 \varphi}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi},$$

welcher Werth in 2) gesetzt giebt

$$MN^2 = \frac{b^4}{b^2 \text{Sin.}^2 \varphi + a^2 \text{Cos.}^2 \varphi}$$

und (da $\text{Cos.}^2 \varphi = 1 - \text{Sin.}^2 \varphi$)

$$= \frac{b^4}{a^2 - (a^2 - b^2) \text{Sin.}^2 \varphi}.$$

Substituirt man hierin den Parameter $p = \frac{b^2}{a}$ und setzt

$$\frac{a^2 - b^2}{a^2} = e^2, \text{ so ist}$$

$$MN^2 = \frac{p^2}{1 - e^2 \text{Sin.}^2 \varphi}.$$

Indem bei der Erde für die verschiedenen Normalen bloſs di

Breite wechselt, so verhält sich hiernach die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter der Breite ψ wie

$$\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \psi} : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi},$$

also die Schwere unter der Breite φ zur Schwere unter dem Aequator, wie $1 : \sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}$, und es ist daher die Schwere unter der Breite φ

$$= \frac{g}{\sqrt{1 - e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi}} = g\left(1 + \tfrac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} e^4 \text{ Sin.}^4 \varphi \ldots\right),$$

wofür man, weil e^2 ein sehr kleiner Bruch ist, mit Weglassung der höhern Potenzen setzen kann $g(1 + \frac{1}{2} e^2 \text{ Sin.}^2 \varphi)$. Hiernach ist also die Zunahme der Schwere vom Aequator zum Pole hin dem Quadrate des Sinus der Breite proportional[1].

Nach den aus den bis jetzt bekannt gewordenen genauen Messungen[2] erhaltenen Resultaten ist $a = 3271952$ und $b = 3260634$ Toisen, und hiernach also $e^2 = 0{,}0069062\ldots$, und wenn also die Schwere unter dem Pole $= 1$ gesetzt wird, so ist sie unter dem Aequator $= 0{,}9965468$. Der Unterschied beider beträgt $0{,}0034531$, welche Gröſse A heiſsen möge, wonach dann, wenn die Schwere g unter dem Aequator gegeben ist, die Schwere g' unter einer gegebenen Breite $= \varphi$ genähert richtig $g' = g(1 + A \,.\, \text{Sin.}^2 \varphi)$ gesetzt werden kann. Ein Körper also, welcher eine Federwaage unter dem Aequator um die Gröſse 1 zusammendrückt, würde sie unter der Breite $= \varphi$ um die Gröſse $= 1 + 0{,}0034531$ zusammendrücken[3].

Bei den bisherigen Untersuchungen ist die Erde als ruhend angenommen worden, was jedoch mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt, indem sie vielmehr täglich einen ganzen Umschwung um ihre Axe von Westen nach Osten vollendet. Ein jeder Körper auf ihrer Oberfläche durchläuft daher in dieser Zeit einen Kreis, welcher mit dem Perpendikel auf die Erdaxe von demjenigen Puncte aus, wo sich der Körper befindet, als Radius beschrieben wird, gleichsam als wenn er am Ende dieses Radius befestigt während eines Sternentages einen ganzen Kreis beschriebe oder einmal umgeschwungen würde. Es

---

1 Vergl. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 394.

2 S. *Erde*. Bd. III. S. 933.

3 Eine Federwaage für diesen Zweck, genannt *statera geographica* et *nautica*, hat Kratzenstein angegeben. S. Nov. Comm. Pet. T. II. p. 210.

Digitized by Google

ist aber das Maſs der Schwungkraft[1] $p = \frac{c^2}{2gr}$, wenn c die Geschwindigkeit, r den Radius des beschriebenen Kreises und g die Fallhöhe in einer Secunde bezeichnet. Um hiernach diese Gröſse für diejenigen Körper zu bestimmen, die sich unter dem Aequator befinden, beträgt der Halbmesser des Aequators 3271952 Toisen, mithin ist dort der Umfang der Erde $= 2\pi \times 3271952$ Toisen oder 19631712 par. Fuſs, welches zugleich die Bahn ist, die ein Körper im Niveau des Meeres dort während eines Sterntages zurücklegt. Auf einen Sterntag, welcher 3′ 55″,909 mittlerer Sonnenzeit kürzer ist, als ein Tag nach Sonnenzeit, gehn sonach $86400 - 235{,}909 = 86164{,}091$ Secunden mittlerer Sonnenzeit und sonach beträgt der Umfang der Erde unter dem Aequator $= 2r\pi = 20558000$ Toisen, welcher durch die Zahl der Secunden dividirt für eine Secunde einen Raum von 238,6 Toisen oder 1431,5 Fuſs giebt. Setzen wir, da kleine Unterschiede hierbei nicht in Betrachtung kommen, die Fallhöhe in 1″ ohne Rücksicht auf die Schwungkraft $= 15{,}13$ par. Fuſs, so giebt die Formel $p = \frac{c^2}{2gr}$ das Verhältniſs der Schwungkraft zur Schwere

$$= \frac{2049400}{594050000} \text{ oder } \frac{1}{289{,}87}, \text{ oder kürzer } \frac{1}{289{,}9}.$$

Newton[2] fand dieselbe $= \frac{1}{289}$, de la Lande[3] $= \frac{1}{287}$, Poisson[4] $= \frac{1}{289}$, und überhaupt können die verschiedenen Resultate der Rechnung hierbei keine bedeutende Unterschiede darbieten. Es beträgt ferner $\frac{1}{289{,}9} \times 15{,}13$ Fuſs nur 0,052 Fuſs, und um so viel ist also die Fallhöhe unter dem Aequator durch die Schwungkraft geringer, als sie ohne diese seyn würde. Ferner ist die Schwungkraft dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional, und da $\sqrt{289{,}9} = 17{,}025$ ist, so würde die Schwungkraft unter dem Aequator der Schwere daselbst gleich seyn, wenn die Erde 17mal so geschwind um

1 S. *Centralbewegung*. Bd. II. S. 64.

2 Princ. L. III. prop. XIX. probl. 3. T. III. p. 77.

3 Astron. §. 3395.

4 Traité de Mécan. T. I. p. 392.

Digitized by Google

ihre Axe rotirte oder die Tagslänge $\frac{24}{17{,}025}$ Stunden betrüge. In diesem Falle würden dann die Körper unter dem Aequator keine Schwere haben, vielmehr durch irgend eine Kraft in die Höhe geworfen oder sich in der Höhe befindend nicht wieder auf die Erde herabfallen.

Die Kreise, in welchen die Körper auf der Oberfläche der Erde umgeschwungen werden, nehmen mit der Entfernung vom Aequator ab, und somit auch die Geschwindigkeit der Bewegung und die hierdurch erzeugte Schwungkraft, die also genau im Pole gänzlich verschwindet. Um das Verhältniſs dieser Abnahme zu den Graden der Breite zu finden, sey Fig. 283.
pp' die Erdaxe, ca der Halbmesser und mq auf die Erdaxe senkrecht. Die Schwungkraft wirkt in der Ebene des Kreises, welchen der Körper beschreibt, und ist dem Halbmesser desselben proportional, so daſs, wenn ab die Schwungkraft unter dem Aequator, mn unter der Breite φ bedeutet,

$$ba : mn = ac : mq.$$

Die Kraft mn läſst sich in mr und nr zerlegen, wovon mr der Schwere entgegenwirkt. Es ist dann bei geringer Excentricität

$$\begin{aligned} mn : mr &= mc : mq \\ &= ac : mq \\ ab : mn &= ac : mq \\ \hline ab : mr &= ac^2 : mq^2. \end{aligned}$$

Es ist aber $mq = \text{Sin. } mcq = \text{Cos. } (90^0 - mcq)$
$mca = \varphi$, also $mq = \text{Cos. } \varphi$,

$$mr = \frac{ab \times mq^2}{ac^2} \text{ und, } ac \text{ als Einheit gesetzt,}$$

$$mr = ab \times mq^2 = ab \text{ Cos.}^2 \varphi,$$

also ist die der Schwere entgegenwirkende Schwungkraft unter irgend einer Breite dem Quadrate des Cosinus proportional. Ebendieses folgt, wenn man berücksichtigt, daſs die Geschwindigkeiten der auf der Erde befindlichen, mit ihr zugleich umgeschwungenen Körper sich verhalten, wie die durchlaufenen Räume, also wie die beschriebenen Kreise oder wie die Radien oder die Perpendikel auf die Axe. Letztere sind aber die Cosinus der Breite, und man erhält also

$$c : c' = \text{Cos. } \varphi : \text{Cos. } \psi,$$

und da die Schwungkraft $p:p'=c^2:c'^2$, so erhält man

$$p:p'=\text{Cos.}^2\,\varphi:\text{Cos.}^2\,\psi,$$

also die Schwungkraft unter dem Aequator als Einheit angenommen ist sie unter einer Breite $=\varphi$

$$p'=p\ \text{Cos.}^2\,\varphi=p\ (1-\text{Sin.}^2\,\varphi),$$

die Schwere muſs aber vom Aequator an zunehmen, wie die Schwungkraft abnimmt. Heiſst sie also unter dem Aequator g, unter einer Breite $=\varphi$ aber g', so ist $g=1-p$, und umgekehrt $g'=1-p\,(1-\text{Sin.}^2\,\varphi)$,

$$\text{also } g:g'=1-p:1-p(1-\text{Sin.}^2\,\varphi)$$
$$=1-p:1-p+p\,\text{Sin.}^2\,\varphi.$$

Hierin $1-p$ als Einheit angenommen ist

$$g'=g\,(1+p\cdot\text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Substituirt man hierin den gefundenen Werth für die Schwungbewegung $p=\frac{1}{289{,}9}=B$, so wird die Schwere unter der Breite φ

$$g'=g\ (1+B\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Die Gröſse B beträgt aber 0,0034495.... der Schwere, also würde ein Körper die Federwaage, die er unter dem Aequator um die Einheit zusammendrückt, unter dem Pole um die Gröſse $=1{,}0034495....$ zusammendrücken. Wir haben aber oben gesehn, daſs vermöge der Abplattung die Schwere vom Aequator an nach dem Pole hin um die Gröſse A dem Quadrate des Sinus der Breite proportional wächst, und da sie in gleichem Verhältnisse durch die Abnahme der Schwungkraft zunimmt, so geben beide Gröſsen vereint[1]

$$g'=g\ \big(1+(A+B)\ \text{Sin.}^2\,\varphi\big),$$

welches durch Substitution der gefundenen Zahlenwerthe giebt

$$g'=g\,(1+0{,}0069026...\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

Setzt man $\text{Sin.}^2\,\varphi=\frac{1-\text{Cos.}\,2\varphi}{2}$, so erhält man

$$g'=g\,(1{,}0034513...-0{,}0034513\,\text{Cos.}\,2\,\varphi),$$

also für den 45sten Breitengrad ist $g'=g\ (1{,}0034513)$.

Diese Bestimmung ist zwar auf die genauesten Gröſsen-Verhältnisse gegründet, welche aus geodätischen Messungen

1 Newton Princ. L. III. prop. XX. probl. IV. T. III. p. 105. Incrementum ponderis, pergendo ab aequatore ad polum, est ut quadratum sinus recti latitudinis. Nach seiner Bestimmung ist

$$g'=g\ (1+0{,}00420\ \text{Sin.}^2\,\varphi).$$

über die Gestalt der Erde aufgefunden worden sind, zugleich aber auch auf die Voraussetzung einer gleichmäſsigen Dichtigkeit derselben, die auf keine Weise mit Wahrscheinlichkeit anzunehmen ist, und sie stimmt daher mit denjenigen Resultaten nicht überein, die aus den Versuchen mit Pendeln hervorgegangen sind, die jedoch auf das Bestimmteste das Verhältniſs der Schwere unter den verschiedenen Parallelen angeben. Die Zunahme der Schwere ist nämlich der Vermehrung der Pendellängen gleich, wonach $g' = g(1 + y \,\text{Sin.}^2 \varphi)$ wird. Nimmt man auf die im Art. *Pendel*[1] nachgewiesene ungleiche Abplattung unter verschiedenen Polhöhen keine Rücksicht, sondern legt man die dem ganzen Quadranten von 0° bis 90° zugehörige $= \frac{1}{289,1}$ zum Grunde, so erhält man für y einen Werth $= 0{,}00520868\ldots$ und $g' = g\,(1 + 0{,}00520868 \,\text{Sin.}^2 \varphi)$, eine Bestimmung, welche aus dem mittlern Resultate der neuesten Pendelmessungen entnommen ist[2]. Wird auch hierin statt

$$\text{Sin.}^2\, \varphi \text{ substituirt } \frac{1 - \text{Cos.}\, 2\varphi}{2}, \text{ so ist}$$

$$g' = g\,(1{,}00260434 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\,\varphi),$$

und, wenn man die Schwere unter dem 45sten Grade der Breite als Einheit durch g und die unter einer andern Breite durch g' bezeichnet,

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434 \text{ Cos. } 2\,\varphi),$$

eine bei vielen Untersuchungen vorkommende Bestimmung[3].

Die Schwere bedingt den Fall der Körper in der Art, daſs man häufig denjenigen Raum, durch welchen ein Körper in einer Secunde mittlerer Sonnenzeit durch die Schwere herab-

---

1 Vergl. *Pendel*. Bd. VII. S. 871.

2 Andere Angaben stimmen hiermit nahe überein. Kraft z. B. in Nov. Comm. Petrop. VII. u. VIII. findet $A + B = 0{,}0052848$. Poisson Traité de Mécan. I. 393. findet 0,005682. Le Gendre in Mém. de l'Acad. 1789. p. 421. giebt an 0,005556. La Place in Mém. de l'Acad. 1817. T. II. p. 162. erhält als Resultat seiner Rechnung 0,004325, also aus der Annahme der gleichmäſsigen Dichtigkeit der Erdschichten weniger, als aus der Erfahrung, welche letztere ihm 0,0054 giebt.

3 Die bei den französischen Schriftstellern meistens vorkommende Bestimmung dieser Gröſse ist $g' = g\,(1 - 0{,}0027601 \text{ Cos.} 2\varphi)$. S. Conn. de Tems l'an 1816. p. 332. Biot Astron. phys. T. I. p. 199. hat $1 - 0{,}00257 \text{ Cos. } 2\,\varphi$, in Traité de Phys. T. I. p. 390. dagegen $1 - 0{,}002837 \text{ Cos. } 2\,\varphi$.

Digitized by Google

zufallen vermocht wird, durch g bezeichnet und als allgemeines Normalmaſs für die Geschwindigkeit der Bewegung betrachtet. Inwiefern dieses Fallen der Körper durch die stetig wirkende Kraft der Schwere nothwendig erzeugt werden und die hieraus folgende Bewegung zugleich eine gleichmäſsig beschleunigte seyn müsse, ist bereits gezeigt[1] und dabei zugleich bewiesen worden, daſs der während einer Secunde durch einen frei fallenden Körper zurückgelegte Raum eine mittlere Geschwindigkeit gebe, die einer halben Secunde zugehört. Es läſst sich dieses auf eine einfache Weise durch geometrische Construction anschaulich machen. Drückt nämlich die Fläche
Fig. 284. des Dreiecks ACB die zunehmend wachsende Geschwindigkeit des in C mit 0 anfangenden und nach einer Secunde in AB endigenden fallenden Körpers aus, so ist ef diejenige Gröſse, welche seine mittlere Geschwindigkeit bezeichnet, da der Flächeninhalt des Rectangels abcd dem des Dreiecks ACB gleich ist. Die Gröſse ef drückt also diejenige Geschwindigkeit aus, die der Körper nach einer halben Secunde erreicht, und ist zugleich die mittlere, die dem Fallraume einer ganzen Secunde zugehört, folglich muſs ein Körper zwei Secunden fallen, damit seine mittlere Geschwindigkeit diejenige werde, die er nach Verlauf von einer ganzen Secunde annimmt. Will man daher diese bezeichnen, so muſs man denjenigen Raum nehmen, welchen der Körper während zwei Secunden zurücklegt, und wird also der Fallraum, welcher während einer Secunde durchlaufen wird, mit g' bezeichnet, so muſs die zur Vergleichung der Geschwindigkeit dienende Gröſse $= 2g'$ genommen werden, wie auch in der oben gebrauchten Formel und sonst bereits in zahllosen Fällen geschehn ist. Hierbei muſs man jedoch den herrschenden Sprachgebrauch sorgfältig beachten. Allgemein bedient man sich des Buchstabens g zur Bezeichnung des Fallraums, allein mit dem Unterschiede, daſs g entweder denjenigen bezeichnet, welcher während einer Secunde zurückgelegt wird, wie dieses in Deutschland ziemlich allgemein üblich ist, oder daſs dieser nur $\frac{1}{2}$ g heiſst, wie meistens bei den französischen Schriftstellern, wo also g so viel bedeutet, als bei den deutschen 2g.

Der Werth von g oder der Fallraum in einer Sexagesi-

1 S. *Fall.* Bd. IV. S. 1 ff.

malsecunde mittlerer Sonnenzeit ist auf keine andere Weise mit der erforderlichen Schärfe zu finden, als durch die genaue Messung des einfachen Secundenpendels, denn auf jeden Fall müſsten die beobachteten fallenden Körper sich im luftleeren Raume bewegen, was kaum zu bewerkstelligen und auf keine Weise mit der gehörigen Genauigkeit meſsbar seyn würde. Dagegen geben aber die Pendelmessungen diese Gröſse mit einer Schärfe, die nichts zu wünschen übrig läſst. Die einfache Formel für die Länge des Secundenpendels[1] giebt das Verhältniſs $t = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{2l}{g}}$, woraus für 1 Secunde $g = \frac{\pi^2}{2} l$ folgt, wenn l die Länge des einfachen Secundenpendels bezeichnet. Nach den so eben angestellten Untersuchungen ist es am besten, den Werth von g für den 45sten Breitengrad aufzusuchen und diesen für die übrigen Breitengrade auf die angegebene Weise zu reduciren. Die Länge des einfachen Secundenpendels für diese Breite beträgt 993,534239 Millimeter oder 440,429754 par. Linien, und diesemnach ist nach der deutschen Bezeichnungsart g = 4,9029 Meter oder 15,09328 par. Fuſs; nach der in Frankreich üblichen Bezeichnungsart aber ist g = 9,8058 Meter oder = 30,18655 par. Fuſs; für irgend eine andere Breite ist dann

$$g' = g\,(1 - 0{,}00260434\ \mathrm{Cos.}\ 2\,\varphi).$$

Diese Gröſse, wovon man in der Mechanik sehr häufig Gebrauch macht, ist hier aus den genauesten Pendelmessungen mit genügender Schärfe abgeleitet. Gewöhnlich nimmt man da, wo es auf kleine Unterschiede nicht ankommt, mit Weglassung der Decimaltheile bloſs 15 par. Fuſs an, die neueren französischen Schriftsteller dagegen haben für die doppelte Gröſse fast ausschlieſslich 9,8088 Meter. Egen[2] findet aus den Pendellängen unter 51° 25′ N. B. in rheinischem Fuſsmaſs 2 g = 31,26114 Fuſs. Es ist aber in ebendiesem Maſse g = 15,6216 Fuſs und mit der Correction für die Breite = 15,62276, also 2 g = 31,24552, welches von jener um nicht mehr als — 0,01562 Fuſs abweicht.

---

1 S. *Pendel.* Bd. VII. S. 809. 873.

2 Untersuchungen über den Effect einiger in Rheinland-Westphalen bestehenden Wasserwerke. Berlin 1831. S. 16.

Digitized by Google

Neuere Bestimmungen über die Länge des einfachen Secundenpendels, wodurch die gefundene Gröſse eine Abänderung erhalten könnte, sind jedoch bei der Bearbeitung jenes Artikels nicht hinzugekommen, eine Erwähnung verdienen aber die Versuche von Baily[1], den Coefficienten des *Widerstandes der Luft* genauer zu bestimmen. Zu diesem Ende bediente er sich des Mittels, Pendel von der verschiedensten Art im luftverdünnten Raume schwingen zu lassen und die hierdurch erhaltenen Resultate mit denen zu vergleichen, welche eben dieselben in atmosphärischer Luft von gleichfalls bekannter Dichtigkeit gaben. Sein Apparat war wesentlich verschieden von demjenigen, womit Sabine auf dem Observatorium zu Greenwich Versuche angestellt hat, im Ganzen aber stieg die Zahl der verschiedenen gebrauchten Pendel auf 41, die im Verfolg der Versuche noch mehr als verdoppelt wurde, um die verschiedenen Modificationen aufzufinden, welche die Gestalt der Pendel rücksichtlich des erlittenen Widerstandes herbeiführt. Von diesen waren 38 solche, deren man sich bisher zur Auffindung der Länge des einfachen Secundenpendels bedient hat, auſserdem aber prüfte er noch verschiedene Uhrpendel, wie sie für diesen Zweck meistens an einer Uhrfeder aufgehangen werden. Vermittelst dieser Pendel bestimmte Baily die erforderliche Correction. Da es aber zu weitläuftig seyn würde, hier die ganze Art der Berechnung im Einzelnen mitzutheilen, so bemerke ich bloſs, daſs er diejenige Gröſse aufsuchte, die von Bessel $= 1 + k$ genannt ist. Auſserdem suchte er das Gewicht der Luft, welche dem Pendel adhärirt und durch dasselbe bei seinen Schwingungen in Bewegung gesetzt wird oder welche, mit dem *centrum oscillationis* vereint, diejenige Verzögerung verursachen würde, die bei den Schwingungen in der Luft zum Vorschein kommt. Wie diese gefunden werde, zeigte Airy durch fol-

---

1 Phil. Trans. 1832. p. 399. Vergl. Art. *Pendel.* S. 345. Die bereits oben erwähnten wichtigen Pendelversuche von Bessel, die zunächst zum Beweise des Satzes dienen sollten, daſs alle Materie gleich schwer sey, ergeben mit den frühern vereint die Länge des einfachen Secundenpendels für die Königsberger Sternwarte = 440,[illegible] Linien, also nur 0,0007 L. gröſser, als die frühern Versuche allein, was für die ausnehmende Genauigkeit aller hinlänglich bürgt. G. Cl. 414.

gende Betrachtung. Wenn N die Zahl der Schwingungen eines Pendels in der Luft während eines Tages nach mittlerer Sonnenzeit bezeichnet und ν die Vermehrung dieser Schwingungen, wenn es sich im leeren Raume befindet, ω das Gewicht des Pendels in *grains* Troy-Gewicht, S sein specifisches Gewicht und σ das spec. Gew. der Luft, so nimmt seine Schwere ab im Verhältniſs von $(N+\nu)^2:N^2$, wofür man genähert $\left(1+\frac{2\nu}{N}\right)$ setzen kann, und es folgt, daſs das in der Luft schwingende Pendel, statt die Trägheit seines Gewichts ω beizubehalten, bloſs die Schwere $= \omega \times \frac{N^2}{(N+\nu)^2}$ oder genähert $= \omega \left(1-\frac{2\nu}{N}\right)$ behalte, also das Gewicht $\omega \times \frac{2\nu}{N}$ verloren habe. Das Gewicht aber, welches es durch das bloſse Vordrängen einer Quantität Luft verloren hat, beträgt $\omega \times \frac{\sigma}{S}$ und diejenige Gröſse, welche hiernach nicht berücksichtigt wird, beträgt $\omega \left(\frac{2\nu}{N}-\frac{\sigma}{S}\right)$. Es läſst sich dieses als ein Zugabegewicht betrachten, welches im *centrum oscillationis* vereint ist. Die wichtigsten unter den erhaltenen Resultaten lassen sich übersehen, wenn man die früher durch Rechnung gefundene Correction, wobei eine Barometerhöhe von 30 engl. Zoll und eine Temperatur von 0° C. vorausgesetzt und angenommen wird, daſs 86400 Schwingungen auf einen Tag gehören, mit der neuen vergleicht, wozu die folgende abgekürzte Tabelle dient.

Art des Pendels.		Alte Correct.	Werth von $1+k$	Neue Correct.	Gewicht d. anhäng. Luft in grains.
Kugeln 1,5 Z. Durchmesser	Platin . . .	2″,709	1,881	5″,104	0,496
	Blei	5,003	1,871	9,362	0,468
	Messing . .	7,343	1,834	13,467	0,457
Linse von Blei, 1 Z. dick .		5,000	1,580	7,900	0,438
Lange kupferne Stange . .		6,519	2,932	19,117	4,904
Kater's unveränderl. Messingp.		6,697	1,590	10,649	8,339
Kater's Revers. Pendel, mit hölzerner Stange.		7,630	2,144	16,356	
		7,630	2,204	16,815	

Im Ganzen verhält sich also die alte Correction zu der eigentlichen neuern wie 1:2,03. Die aus den Pendelmessungen erhaltenen Resultate müſsten hiernach bedeutend unrichtig seyn, allein bei den meisten neuesten Versuchen wurden dieselben Pendel an den verschiedenen Stationen gebraucht oder solche, die auf gleiche Weise construirt waren, und die Fehler heben sich daher auf, wenn man bloſs das Verhältniſs ihrer Schwingungszahlen an verschiedenen Orten zu wissen verlangt. Wegen der weitern Untersuchungen, die Pendel betreffend, wie sie Baily mitgetheilt hat, muſs ich auf die schätzbare Abhandlung selbst verweisen.

Die wichtigsten Versuchen zur Auffindung der Gesetze des *freien Fallens* der Körper, zugleich mit Rücksicht auf die Umdrehung der Erde um ihre Axe, sind bereits oben[1] erwähnt worden. Sie wurden indeſs seitdem noch durch eine schätzbare Reihe vermehrt, welche Reich und Brendel im Jahre 1831 zu Freiberg angestellt haben, bei denen sich gleichfalls eine aus der Theorie nicht folgende geringe Abweichung der aus beträchtlicher Höhe herabfallenden Körper nach Süden bemerken lieſs[2].

1 S. Art. *Fall.* Bd. IV. S. 7 ff.

2 Fallversuche über die Umdrehung der Erde, angestellt auf hohe oberamtliche Anordnung in dem Dreibrüder-Schachte bei Freiberg u. herausgeg. von F. Reich. Freib. 1832. 8. Vergl. G. CV. 494.

Das Fallen der Körper, als Folge der Schwere, findet im Allgemeinen bloſs auf der Oberfläche der Erde und in verhältniſsmäſsig geringer Erhebung über derselben statt und hierüber sind die Gesetze durch die zahlreichsten Beobachtungen und Versuche hinlänglich bekannt. Selten wird die Gelegenheit dargeboten, den Fall der Körper unter dem Spiegel des Meeres, also im Innern der Erde, zu beobachten, und wo dieses etwa möglich wäre, da ist die Tiefe so auſserordentlich gering, daſs die aufgestellten Gesetze keine meſsbare Abänderung durch die unmerklich gröſsere Annäherung zum Centrum der Erde erleiden können. Man hat jedoch wiederholt ein für die Anwendung völlig unnützes Problem aufgeworfen, nämlich wie ein Körper fallen würde, wenn er von irgend einer Höhe anfangend bis zum Centrum der Erde gelangen und dann noch jenseits seine Bewegung fortsetzen könnte. Die Frage ist bereits durch Brandes[1] genügend in Verbindung mit den Fallgesetzen im Allgemeinen beantwortet worden, ich füge jedoch noch Folgendes hinzu, was mir noch einfacher zu den nämlichen Resultaten zu führen scheint. Zuvörderst läſst sich der Fall, daſs ein durch die Schwere bewegter Körper aus einer gröſsern Höhe herab auf der Oberfläche der Erde ankommt und dann seine Bewegung weiter nach dem Centrum derselben fortsetzt, nicht in einem einzigen analytischen Ausdrucke vereinigen, weil bis zur Oberfläche der Erde die Kraft der Anziehung stets wächst, von da an aber abnimmt. Die Aufgabe muſs daher so gestellt werden, daſs der Körper von der Oberfläche der Erde an zu fallen beginnt, wobei man seine Geschwindigkeit in diesem Puncte $= C$ oder $= 0$ setzen kann. Für die letztere Bedingung sey EC der Halbmesser der Erde $= r$, die Entfernung vom Mittelpuncte $Ca = x$, die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche bis a herabgefallenen Körpers $= v$, die Zeit dieses Fallens $= t$, der Fallraum für 1 Secunde in $E = g$, in a aber $= f$, so ist Fig. 235.

$$CE : Ca = 1 : f \text{ und } rf = x \text{ oder } f = \frac{x}{r},$$

weil die Anziehung vom Mittelpuncte der Erde an bis zu ihrer Oberfläche der Entfernung vom Centro oder dem wach-

1 Art. *Fall*. Bd. IV. S. 11.

Digitized by Google

senden Halbmesser direct proportional ist. Nach den Fallgesetzen ist aber bekanntlich $d\nu = 2g\,\frac{x}{r}dt$, und da auch hier $\nu = -\frac{dx}{dt}$ ist, so ergiebt die Multiplication beider Gröſsen

$$\nu d\nu = -\frac{2gx\,dx}{r},$$

welches integrirt giebt

$$\nu^2 = -\frac{2gx^2}{r} + \text{Const.}$$

Setzt man für $\nu = 0$ die Gröſse $x = r$, so ist Const. $= \frac{2gr^2}{r}$ und das vollständige Integral wird

$$\nu^2 = 2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right) \text{ oder } \nu = \pm\sqrt{2g\left(\frac{r^2 - x^2}{r}\right)}$$

Heiſst dann die Linie $a\alpha = p$, die Linie $CB = q$, so ist $\nu = 2g\,\frac{p}{q}$, d. h. die Geschwindigkeit eines von der Oberfläche der Erde nach ihrem Centrum fallenden Körpers, die er in irgend einem Puncte in ihrem Innern erlangt hat, verhält sich, wie das Perpendikel auf diesen Punct. Kommt der Körper im Centrum der Erde an, so ist seine Geschwindigkeit $\nu = \sqrt{2gr}$, also für $2g = 30$ Fuſs und $r = 19609050$ Fuſs $\nu = 24254$ Fuſs. Um die Zeit zu finden, hat man

$$\nu dt = -dx, \text{ also } dt = -\frac{dx}{\nu},$$

und hierin den Werth von ν substituirt

$$dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}},$$

welches integrirt giebt

$$t = \sqrt{\frac{r}{2g}}\,.\,\text{arc. Cos.}\,\frac{x}{r}.$$

Die Zeit des Fallens eines Körpers von E bis a verhält sich also wie der zugehörige Bogen Eα. Rückt a bis C hinab, so wird $t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{EB}{BC} = 1{,}5708\sqrt{\frac{r}{2g}}$, welches für die oben angenommenen Werthe $t = 1270$ Sec. oder 21 Min. 10 Sec. als die Zeit des Fallens von der Oberfläche bis zum Centrum giebt. Diese nämliche Zeit verwendet der fallende

Digitized by Google

Körper auf jeden Raum, in welchem Puncte zwischen E und C er auch zu fallen anfangen mag. Ist nämlich diese Entfernung $= n$, so wird aus der obigen Gleichung für v

$$v = \sqrt{\left(\frac{2g}{r}(n^2 - x^2)\right)},$$

$$\text{also } dt = \sqrt{\frac{r}{2g}} \times \frac{dx}{\sqrt{(n^2 - x^2)}},$$

$$\text{mithin } t = \sqrt{\frac{r}{2g}}.\ \text{arc. Cos.} \frac{x}{n}$$

und für $x = 0$ ist $t = \sqrt{\frac{r}{2g}}.\ \text{arc. Cos.} 0 = 1{,}5708 \sqrt{\frac{r}{2g}}.$

Indem aber der Körper vermöge der erhaltenen Geschwindigkeit ebenso weit fortgetrieben wird, als er herabgefallen ist, so würde derselbe von der Oberfläche an bis zum Centrum gelangt nach dem Trägheitsgesetze wieder bis zur entgegengesetzten Oberfläche gelangen, wo seine Geschwindigkeit $= 0$ werden, er aber dann sogleich den Fall nach entgegengesetzter Richtung wieder beginnen und auf dem Wege durch die ganze Erde 42′ 20″, bis zur Rückkehr an seinen ersten Ort aber 1 Stunde 24 Min. 40 Sec. gebrauchen würde.

Man pflegt die Gesetze der beschleunigten Fallgeschwindigkeit in der Regel vermittelst der *Atwood'schen Fallmaschine* zu erläutern, die bereits oben [1] beschrieben worden ist. Sonst bedient man sich auch wohl einer geneigten Ebene, auf welcher ein geeigneter kleiner Wagen mit verschwindender Reibung oder eine elfenbeinerne Kugel herabrollt und in gleichen Zeiten vermehrte Räume zurücklegt. Neuerdings hat ALDINI [2] eine andere Maschine angegeben, womit zwar die Fallgeschwindigkeit nicht mit der erforderlichen Schärfe, wohl aber die Widerstände gefunden werden, welche die Körper beim Fallen erleiden. Diese besteht aus einem massiven Fuſsbrete mit Stellschrauben zur horizontalen Richtung und mit einer Fig. 286.
Vertiefung B, worin sich Sand oder ein sonstiger weicher Körper befindet, um das harte Aufschlagen des fallenden Ge-

---

1 S. *Fallmaschine.* Bd. IV. S. 30.

2 Bibl. univ. Sc. et Arts. T. LI. p. 77. aus Memorie dell' Instistuto Italiano. Classe di Fisica cet. T. I. p. 487. Auch in Novi Saggi di Padova T. 1. p. 127. Von DAL NEGRO.

Digitized by Google

wichtes G zu mildern. Auf dem Fuſsbrete steht eine verticale, in gewisse Abtheilungen eines Längenmaſses getheilte Säule mit einem verschiebbaren Zeiger, um danach die Fallhöhe des Gewichtes G abzumessen. Oben an der Säule befindet sich eine verticale, in 500 Theile getheilte Scheibe, vor welcher ein Zeiger A umläuft, welcher an einer Rolle festsitzt, um die eine Schnur geschlungen ist, an welcher das kleine Gewicht g hängt. Die Rolle ist auf ihrem Rande rauh gemacht oder gefurcht, um durch das aufliegende gleichfalls gefurchte Ende des längeren Hebelarmes L′ durch den Druck sogleich zum Stillstande gebracht zu werden. Das andere kürzere Ende des Hebels L ist so abgeschnitten, daſs das Hebelstück D mit der Ebene seines Endes genau auf dessen Ebene paſst und den Faden des Gewichts G fest zwischen beiden klemmt. Da der Hebelarm L′ an sich ein Uebergewicht über den andern L hat, so wird er herabfallen, und es werden dann zu gleicher Zeit beide Gewichte g und G herabzufallen beginnen, sobald man den Hebelarm E mit der Hand hebt und den zwischen L und D festgeklemmten Faden löset. Während dann G von einer bestimmten Höhe herabfällt, fällt auch g, drehet dadurch die Rolle P um ihre Axe und der Zeiger A miſst die kleinen Theile dieser Umdrehung. Da aber der Fall von g ein beschleunigter ist, so kann man die Bewegung des Zeigers in eine gleichmäſsige verwandeln, wenn man der Rolle eine Spiralform giebt, deren Windungen in dem Verhältnisse der Zahlen 1 : 3 : 5 : 7 . . . zu einander stehn. Will man diese Gröſsen auf bestimmte Fallhöhen und Zeiten reduciren, so dient hierzu die bekannte Formel $h = g\, t^2$, worin h die Höhe, t die Zeit in Sexagesimalsecunden und g den Fallraum in 1 Secunde bezeichnet. Nobili benutzte die Maschine zunächst, um den Widerstand der Luft gegen zwei fallende Körper von gleichem Volumen und ungleichem Gewichte zu bestimmen, desgleichen zur Auffindung des Widerstandes, welchen ungleiche Flüssigkeiten den fallenden Körpern von gleicher Masse oder gleichem Volumen entgegensetzen, endlich auch um die Fallgesetze der Körper in Flüssigkeiten zu untersuchen, die selbst in Bewegung sind. Ob übrigens die Maschine für so feine Versuche hinlängliche Genauigkeit zuläſst, ob z. B. der Hebelarm L′ schnell genug losläſst und die Rolle keine kleine Fehler durch Reibung ihrer Zapfen

Digitized by Google

herbeiſführt, wage ich nicht zu entscheiden, da der Erfinder die Resultate seiner Versuche nicht angiebt.

Es ist verschiedentlich, unter andern von v. Langsdorf[1], eine Modification der Schwere in Anregung gebracht worden, welche auf gleiche Weise aus dem Umschwunge der Erde um die Sonne entstehn soll, als eine solche durch die Rotation der Erde entsteht, und wonach somit ein Unterschied der *Tagschwere* und der *Nachtschwere* statt finden müſste. Ein geringer Unterschied dieser Art findet allerdings statt, allein dieser ist so unbedeutend, daſs man ihn mit Recht stets vernachlässigt hat und auch das feinste Pendel ihn nicht merkbar machen kann. Unrichtig ist zuvörderst die Ansicht, als wenn die der Sonne zugewandten Theile der Erde durch den Umschwung der letzteren in ihrer Bahn um die Sonne gegen diese hingetrieben, die von der Sonne abgewandten aber von derselben weggetrieben würden und hieraus ein Unterschied der Schwere bei Tage und bei Nacht entstände. Man muſs vielmehr berücksichtigen, daſs das Centrum der Erde ebensowohl gegen die Sonne gravitirt, als beide einander diametral gegenüber stehende, in einer durch die Mittelpuncte beider Körper gehenden Linie liegende Puncte ihrer Oberfläche. Alle drei sind daher in relativer Ruhe[2], indem ihre gemeinschaftliche Gravitation gegen die Sonne die Beschaffenheit der Erdbahn bedingt. Entstände jedoch hieraus ein Einfluſs, so müſsten bloſs die der Sonne zugewandten Körper durch die Anziehung dieses Weltkörpers an Schwere verlieren; die richtige Erklärung der Ebbe und Fluth zeigt jedoch, daſs eine solche Verminderung beide entgegengesetzte Seiten der Erde trifft. Der Unterschied der Tagschwere und der Nachtschwere soll auch bloſs daraus hervorgehen, daſs der Radius des Kreises, worin sich ein Punct um Mittag bewegt, kleiner ist als um Mitternacht. Nehmen wir also den einfachsten Fall, welcher zugleich den gröſsten Werth giebt, daſs sich die Sonne im Nachtgleichenpuncte befindet, der Körper aber im Aequator der Erde, den Einfluſs der Axendrehung der letzteren bei Seite gesetzt, und berechnen wir hiernach den Unterschied der Schwungkräfte beider $= \Delta k$, so ist für den Halbmesser der Erdbahn

1 Heidelb. Jahrb. d. Lit. Intell. Bl. 1823. N. IV.

2 Benzenberg Versuche über die Umdrehung d. Erde. S. 72.

$= r = 20{,}5$ Mill. Meilen und den Durchmesser der Erde $d = 1719$ Meilen die Schwungkraft eines Körpers um Mittag $k = \frac{v^2}{r}$, um Mitternacht $k' = \frac{v^2}{r+d}$, mithin $\Delta k = \frac{k'-k}{k'}$. Berücksichtigen wir ferner, daſs sich die Geschwindigkeiten wie die durchlaufenen Räume, diese aber wie die Radien verhalten, und nennen wir demnach $k = 1$, so ist $k' = 1{,}00008385$, mithin $\Delta k = 0{,}000083842$ . . . Um diese Gröſse mit der Schwere zu vergleichen, oder $\frac{v^2}{r} : 2g$ genommen, sey die Bewegung der Erde in 24 Stunden $= 358700$ Meilen, also in einer Secunde nahe genau 94827 Fuſs, wonach die Schwungkraft den 0,0006385 . . ten Theil der Schwere beträgt. Die Differenz der Tagschwere und Nachtschwere, wie sie durch die Schwungkraft der Erde im Weltraume hervorgebracht wird, beträgt also $0{,}0006385 \ldots \times 0{,}000083842 \ldots = 0{,}0000000535$ der Schwere, eine in die achte Decimalstelle fallende und daher unmeſsbare Gröſse, indem ein Körper hiernach nur 0,0000008 Fuſs weniger oder mehr fallen würde.

Daſs die Anziehung der Sonne und des Mondes (den verschwindenden Einfluſs der Planeten nicht zu erwähnen) auf die Schwere der auf der Erdoberfläche befindlichen Körper einen Einfluſs haben müsse, liegt im Wesen der Schwere und zeigt sich auch in den Erscheinungen der Ebbe und Fluth. Wenn nach dem Newton'schen Gravitationsgesetze der Mittelpunct der Erde mit einer den Massen direct und den Quadraten der Abstände umgekehrt proportionalen Kraft angezogen wird, so erhält die Schwere eines auf ihrer Oberfläche befindlichen Körpers dadurch eine Verminderung, welche im directen Verhältnisse der Masse des anziehenden Körpers und im umgekehrten des Cubus seiner Entfernung steht[1]. Den einfachsten Fall also angenommen, daſs beide genannte Himmelskörper im Zenith stehen, die Masse der Erde und ihren Radius $= 1$ gesetzt, die Masse der Sonne $= 329630$, ihre mittlere Entfernung $= 24433$ Erdhalbmesser, die Masse des Mon-

1 Vergl. *Ebbe u. Fluth*. Bd. III. S. 23. Bohnenberger Astronomie S. 680. Hiernach lassen sich v. Arnim's und Gilbert's Vorstellungen in Annal. d. Phys. VIII. 87 berichtigen. Vergl. Benzenberg ebend. XV. 110.

Digitized by Google

des $= 0{,}0146$ und seine mittlere Entfernung $= 60$ Erdhalbmesser, die Anziehung der Erde gegen einen Punct in ihrer Oberfläche endlich $= 1$, so würde die Anziehung der Sonne $= 0{,}0000000226 = \frac{1}{44255000}$, des Mondes $= 0{,}0000000676 = \frac{1}{14795000}$ betragen. Beide Gröſsen stehen im Verhältniſs wie 1 : 3, was mit den Beobachtungen der Ebbe und Fluth übereinstimmt, sind aber, obgleich hier im Maximo angenommen, dennoch so gering, daſs sie bei irdischen Erscheinungen der Schwere sich jeder Beachtung entziehn. Die Summe beider beträgt nämlich nur 0,0000000902 und ein Körper würde durch sie gehindert nur 0,000001353 Fuſs weniger fallen.

Jene erstere Einwirkung sollte nach der Ansicht einiger Naturforscher einen Einfluſs auf den Gang der Pendeluhren bei Tage und während der Nacht ausüben, welcher sich jedoch der angegebenen Theorie gemäſs in der Erfahrung nicht findet, die letztere aber müsse sich, wie man glaubte, an sehr langen Pendeln durch eine periodische Abweichung derselben zeigen. Namentlich wollte Calignon de Peirins, ein Freund Gassendi's, an einem 30 Fuſs langen Pendel eine mit der Ebbe und Fluth zusammenfallende Bewegung bemerkt haben, nach welcher dasselbe von 6 zu 6 Stunden etwas nach Norden rücke und wieder zurückkehre. Gassendi nannte dieses *Reciprocation* des Pendels (*Reciprocatio penduli;* Reciprocation du pendule, von *reciprocatio maris*, der Ebbe und Fluth) und einen solchen Apparat ein *Reciprocationspendel.* Die Sache wurde mehrfach behauptet und bestritten [1] und Bouguer gab sich die Mühe zu zeigen, daſs die Bewegungen solcher Pendel seinen Versuchen gemäſs durchaus keine Regelmäſsigkeit zeigten [2]. Später haben Riccioli und Grimaldi, Mersenne, Andreas Mayer [3] und andere darüber gehandelt, neuerdings hat Benzenberg [4] das Problem wieder in Anregung gebracht

---

1 Hist. de l'Acad. 1742.

2 Mem. de Paris. 1754. p. 250.

3 De deviatione et reciprocatione penduli. Gryphisw. 1776.

4. Vers. über die Umdrehung d. Erde S. 67, wo man die Geschichte der früheren Verhandlungen erzählt findet.

Digitized by Google

und den Gebrauch langer und sehr empfindlicher Wasserwagen, so wie Beobachtungen zu der Zeit, wenn sich die genannten Himmelskörper im Horizonte befinden, in Vorschlag gebracht, allein alle darüber angestellte Versuche führen zu keinem Resultate, wie aus dem Ergebniſs der Theorie von selbst folgt.

Die Schwere ist bei den bisherigen Untersuchungen als Folge einer durch Erfahrung erkannten Kraft, der *Anziehung*, betrachtet worden, ohne das eigentliche Wesen derselben zu berücksichtigen. Man hat Letzteres jedoch oft zu erklären versucht, ohne jemals damit zu einem genügenden Resultate gelangt zu seyn. Aristoteles [1] sagt im Allgemeinen, es gäbe schwere und leichte Körper, jene mit dem Bestreben, sich nach dem Mittelpuncte der Erde zu bewegen, diese mit dem Triebe, denselben zu fliehen. Hieraus machten die Scholastiker nachher eine *qualitas occulta* und vertieften sich darüber in Spitzfindigkeiten, weil die Erfahrung zu ihrer Theorie nicht paſste; einige leugneten die Schwere überhaupt und nahmen an, die Körper drückten bloſs deswegen gegen ihre Unterlagen, weil sie weniger leicht als andere seyen. Keppler [2] versuchte zuerst wieder, die Schwere mechanisch zu erklären, verlor sich dabei aber in unnatürliche Fictionen. Hiernach liegt die Ursache der Schwere in gewissen feinen, um die Erde bewegten Ausflüssen (*spirantibus effluviis*), welche die Körper herabziehen. Einige Gelehrte wurden durch die Undeutlichkeit seiner Ausdrücke verleitet anzunehmen, er rede von geistigen Wesen, z. B. Saverius [3], welcher darin eine Andeutung fand, daſs diese Untersuchungen die Kräfte des menschlichen Verstandes überstiegen. Gassendi nahm statt der umkreisenden Ausflüsse Strahlen einer feinen, aus dem Mittelpuncte der Erde ausgehenden (vielleicht magnetischen?) Materie an, welche die Körper nach sich zurückzögen, Casatus aber behauptete, die Körper seyen nur darum schwer, weil sie nicht an ihrem rechten Orte sich befänden [4]. Man begreift jetzt kaum, wie den-

1 De Coelo. Lib. IV. cap. 4. Problemata Sect. XXV. quaest. 13.

2 Epit. Astron. Copern. Lentiis ad Danub. 1618. 8. L. I. p. 95.

3 Dict. de Math. et de Phys. Art. Pesanteur.

4 Vergl. Brisson Traité élém. ou Principes de la Physique. T. I. p. 165.

kende Männer auf solche nichts sagende Hypothesen verfallen konnten.

Am meisten Aufsehn hat geraume Zeit das System des Cartesius[1] erregt und viele Physiker haben dasselbe durch neue gewagte Hypothesen zu vertheidigen gesucht. Hiernach streben die Kügelchen des ersten und zweiten Elements sich in geraden Richtungen zu bewegen. Weil sie aber durch die grobe Masse der Erde daran gehindert werden und den Weg verfolgen müssen, welchen ihnen die Zwischenräume der gröberen Theile offen lassen, so streben sie wenigstens, sich diese Wege so geradlinig und kurz zu machen, wie möglich. Dieses findet statt, wenn die ganze hindernde Masse kugelförmig ist; ragt aber ein Theil über die Kugelfläche hinaus, so stoſsen die Kügelchen von auſsen mit mehr Gewalt gegen ihn, als gegen die übrige Oberfläche, und treiben ihn nieder, ist ein Theil unter die Oberfläche vertieft, so stoſsen die inwendig durchgehenden Kügelchen stärker gegen ihn und treiben ihn nach oben. Hieraus entsteht die runde Gestalt der Erde, der Wassertropfen u. dgl., so wie auch die Schwere, welche die Körper nach dem Mittelpuncte treibt. Schwebt in der Luft ein Körper, welcher mehr grobe Masse hat, als ein gleiches Volumen Luft, so findet die feine Materie in ihm weniger Wege zum Durchgange, als in der Luft, treibt daher unverweilt den Körper nieder und bringt Luft an seine Stelle. Das Gewicht richtet sich daher nicht nach der Masse der Körper, sondern nach dem Unterschiede zwischen der Menge der Kügelchen des ersten und zweiten Elements und der gröberen Materie, welche sich in dem Raume des schweren Körpers und in einem gleichen Volumen des ihn umgebenden Mittels befinden können. Vielleicht hat z. B. das Gold nur viermal mehr grobe Masse, als das Wasser, wiegt aber dennoch neunzehnmal mehr, weil die Theile des Wassers in steter Bewegung sind, also mehr feine Materie durchlassen und daher in Vergleichung mit festen Körpern mehr Leichtigkeit besitzen.

Auch Hooke und Vossius dürfen als Anhänger des Cartesius betrachtet werden, sofern sie die Schwere von einer feinen Flüssigkeit ableiteten, wobei nach Letzterem jedoch der

---

1 Ren. Cartesii Principia philosophiae. Amst. 1685. 4. Lib. IV. prop. 19—25. Vergl. *Materie.*

Umschwung der Erde nothwendige Bedingung der Wirksamkeit des Aethers seyn sollte[1]. HALLEY dagegen und CLARKE wollten der Theorie von einem Aether nicht beipflichten, sondern betrachteten die Schwere als eine unmittelbare Wirkung der Gottheit, welche die Körper einmal in Bewegung gesezt habe[2].

Eigentlich liegt die hier angegebene lothrechte Bewegung der feineren Materie nicht nothwendig im Systeme des CARTESIUS, vielmehr bewegen sich die Wirbel in der Richtung des Aequators oder mit ihm parallel von Westen nach Osten, woraus jedoch das Problem der Schwere nicht unmittelbar erklärlich wird. Um diesen Mangel zu verbessern, läſst HUYGHENS[3] die feine ätherische oder schwermachende Materie sich nicht mit dem Aequator parallel bewegen, sondern sich in dem sphärischen Raume, worin sie enthalten ist, nach allen möglichen Richtungen bewegen. Diese Bewegungen hindern und vermindern einander so lange, bis sich die Materie in lauter gröſsten Kreisen bewegt, die sich überall schneiden und in concentrischen Kugelflächen alle mögliche Richtungen annehmen. Indem hiernach der Stoſs von allen Seiten erfolgt, kann er keine horizontale Bewegung veranlassen, sondern muſs die Körper nach dem Centrum der Erde treiben. Weil indeſs eine solche Bewegung des Aethers an sich undenkbar ist, so waren die eifrigsten Cartesianer mit dieser Verbesserung nicht zufrieden. Indeſs erklärte HUYGHENS sehr glücklich, oder er glaubte dieses wenigstens, wie eine Kreisbewegung Körper, die ihr nicht schnell genug folgen können, nach dem Mittelpuncte treibe, indem die im Kreise bewegte Materie gegen dieselben stöſst, sie aus der Stelle treibt und nicht eher ruhen läſst, als bis sie in die Mitte gedrängt sind. Dieser Satz wurde noch obendrein durch einen sinnreichen Versuch bestätigt. HUYGHENS füllte ein cylindrisches Glas von 4 bis 5 Zoll Höhe und 8 bis 10 Zoll Durchmesser mit Wasser, warf Stückchen zerriebenen Siegellacks hinein und drehete es vermittelst einer Centralmaschine schnell um seine Axe. War alles Wasser in eine hinlänglich schnelle drehende Bewegung versetzt, so hielt

1 Birch History of the Royal Soc. II. 72 u. 91.
2 Rohaultii Tractatus phys. ed. Clarke. II. cap. 2.
3 Dissert. de causa gravitatis. In Opp. rel. T. I. p. 93.

Digitized by Google

er die Maschine an, worauf dann das Siegellack gegen die Mitte getrieben wurde, weil es, wie er meinte, durch Reibung am Glase seine Kreisbewegung verloren hatte. Somit glaubte also Huyghens die Ursache der Schwere in der Kreisbewegung des Aethers nachgewiesen zu haben, und da die Schwungkraft unter dem Aequator $\frac{1}{289}$ der Schwere ausmacht, so nahm er an, daſs die Geschwindigkeit der Bewegung des Aethers sich zur Geschwindigkeit der Axendrehung der Erde verhalte, wie $\sqrt{289} : \sqrt{1} = 17 : 1$, oder die Geschwindigkeit der Körper unter dem Aequator 17mal übertreffe[1].

Daſs Newton diese Wirbeltheorie gekannt habe, ist nicht zu bezweifeln, wenn man berücksichtigt, daſs er die Schriften des Cartesius fleiſsig studirte und gegen diesen sowohl, als auch gegen Huyghens groſse Achtung hegte[2]. Desto gewisser aber ist, daſs er niemals ein eigentlicher Anhänger derselben war. Im Allgemeinen liebte er die hypothetischen Speculationen nicht, sondern er experimentirte und baute seine Schlüsse auf die dem Calcül unterworfenen Resultate seiner Versuche. Inzwischen war das Ansehen des Cartesius so groſs, daſs Newton beim Beginnen seiner Studien sich nicht füglich als Gegner desselben erklären konnte, auf jeden Fall aber war es ihm unmöglich, die Hypothese von der Existenz eines Aethers zu widerlegen, weswegen er, wenn auch nur aus der ihm natürlichen Nachgiebigkeit und versuchsweise, die optischen Erscheinungen und selbst die allgemeine Anziehung auf die Wirkungen eines Aethers zurückführte[3]. Hiernach war ein höchst feiner und zugleich elastischer Aether überall verbreitet, durchdrang zugleich die festen Körper, deren Poren um so viel weniger von ihm erfüllt sein sollten, je enger sie wären. Wurden diesemnach zwei Körper mit ebener Fläche einander genähert, so muſste der Aether stets mehr zwischen ihnen schwinden und eben hierdurch sein äuſserer Druck

1 Weitere Erläuterungen dieser Theorie giebt Hamberger in Dissert. de experimento ab Hugenio pro causa gravitatis explicanda invento. Ien. 1723. 4. Vergl. Nollet in Mém. de l' Acad. 1741. p. 184.

2 Newtoni vita. In Opusc. T. I. XXII.

3 Epist. ad Rev. Boylium. In Newt. Opp. ed. Horsley. T. IV. p. 385. Vergl. Bibl. univ. T. XXI. p. 239.

Digitized by Google

wachsen, woraus die Adhäsion, Capillarattraction u. s. w. erklärbar seyn sollten. Im Mittelpuncte der Erde muſste dieser Aether verschwindend dünn seyn, nach auſsen aber an Dichtigkeit wachsen, wodurch also die Körper in der Nähe der Erde gegen ihr Centrum getrieben wurden[1].

Inzwischen wurde diese Hypothese sofort von ihm verlassen, als sein Scharfſinn entdeckt hatte, daſs die Gravitation der Himmelskörper auf das einfache Gesetz der Schwere zurückgeführt werden könne, wonach also die Annahme eines drückenden Aethers nicht länger zulässig war, indem dieser im mittleren Abstande zweier Himmelskörper seine gröſste Dichtigkeit haben muſste und daher keine Gravitation zulieſs. Von dieser Zeit an bemühete Newton sich nicht weiter, die eigentliche Natur und die Ursache der Gravitation zu ergründen, indem er vielmehr die gesammten Erscheinungen derselben auf die genauer bestimmten Gesetze der Schwere zurückzuführen suchte. Nach einer bekannten Anekdote soll Newton durch die zufällige Beobachtung eines fallenden Apfels zur Auffindung des allgemeinen Gravitationsgesetzes veranlaſst worden seyn. Es scheint mir dieses jedoch im höchsten Grade unwahrscheinlich, da der Fall der Körper eine allgemein bekannte, einem jeden unzählbar oft vorkommende Erscheinung ist, wovon man die Ursache zu jenen Zeiten, wie Newton wohl wuſste, in den Cartesischen Wirbeln zu finden glaubte, deren Nichtigkeit eben erst aus dem Gesetze der allgemeinen Schwere folgte; auſserdem aber wäre es ein allzukühner *hypothetischer* Sprung gewesen, von einer auf unserer Erde sich in dieser Gestalt zeigenden Erscheinung sofort auf eine den Himmelskörpern eigenthümliche Kraft zu schlieſsen. Weit wahrscheinlicher ist dagegen anzunehmen[2], daſs das Nachdenken über die in den gröſsten meſsbaren Höhen über der Erde nur unmerklich abnehmende Schwere die natürliche Frage veranlaſste, ob dieselbe sich nicht auch bis zu den Himmelshörpern erstrecke. Kaum zu bezweifeln ist dann, daſs die scharfe Auffassung der Keppler'schen Gesetze und die Con-

1 Vergl. Opt. qu. 21. Hutton Dict. T. I. p. 592.

2 Vergl. Sir Isaak Newton's Leben nebst einer Darstellung seiner Entdeckungen von D. Brewster. Ueb. von B. M. Goldberg mit Anm. von H. W. Brandes. Leipz. 1833. S. 118. Cap. XI.

struction der Planetenbahnen nach diesen den Gedanken herbeiführte, die nämliche Anziehung, welche die Körper zur Erde führe, möge auch wohl den Mond in seiner Bahn um dieselbe erhalten und die Planeten auf gleiche Weise von der Tangente ihrer Bahn nach der Sonne hin ablenken. Dieses hat um so mehr Wahrscheinlichkeit für sich, als Newton[1]

---

1 Newton schrieb an Halley am 14. Juli 1686: „Was die doppelte Proportion betrifft, so erhielt ich sie aus Keppler's Lehrsatz „vor ungefähr zwanzig Jahren." S. Brewster a. a. O. S. 119. Diese Zeitbestimmung führt auf das Jahr 1666, als Newton sich der Pest wegen von Cambridge entfernte und auf sein Landgütchen nach Woolsthorpe begab, wo der Fall eines Apfels Veranlassung zu jener wichtigen Entdeckung gegeben haben soll. Biot (in seiner Lebensbeschreibung Newton's in Biographie universelle) nimmt die Anekdote in Schutz, weil dieselbe mit der Erzählung Pemberton's (View of Sir Js. Newton's Philosophy, Pref.), daſs Newton 1666 zu Woolsthorpe in der Einsamkeit über das Gesetz der allgemeinen Schwere nachgedacht habe, genau übereinstimme. Dieses ist allerdings richtig, auch ist im Texte gezeigt, wie bedeutend weit ihn seine Untersuchungen schon damals führten, er konnte diese aber nicht fortsetzen, weil ihm die genaueren Bestimmungen der Gröſse der Erde und also auch der Mondsbahn fehlten. Seine optischen Versuche zogen ihn nachher vom weiteren Verfolge dieses Gegenstandes ab, bis Dr. Hooke 1678 durch das Problem, welche Bahn ein lothrecht von der Erde aufwärts geworfener Körper beschreiben würde, ihn zur Entdeckung des berühmten Satzes leitete, daſs ein Planet, auf den eine mit dem Quadrate der Entfernung im umgekehrten Verhältnisse stehende anziehende Kraft wirkt, eine elliptische Bahn beschreiben müsse, in deren einem Brennpuncte der anziehende Körper sich befinde (Brewster a. a. O. S. 120. aus Biographia Britannica p. 2662). Biot beruft sich ferner auf Voltaire (Elémens de la philosophie Newtonienne Chap. 3), welcher jene Erzählung als eine von der Madame Conduit ihm mitgetheilte angiebt, und endlich finde man auch ausdrücklich bei Turnor (collections for the History of the Town and Soke of Grantham p. 160) eine Erzählung des Herrn Conduit, daſs Newton den Gedanken an die Gravitation zuerst aufgefaſst habe, als er einen Apfel vom Baume fallen sah. Noch vor 15 Jahren, setzt Biot hinzu, zeigte man im Garten zu Woolsthorpe den Apfelbaum, der durch diese Geschichte eine seltene Celebrität erhalten hatte. Dieses, was Brandes in einer Anmerkung S. 321. des angez. Werks mittheilt, kann noch durch die Angabe Brewster's a. a. O. S. 289. ergänzt werden, daſs der Baum vor einigen Jahren vom Winde umgeworfen, aber von Turnor in Gestalt eines Stuhles aufbewahrt wurde. Brewster setzt hinzu: „die „Anekdote vom fallenden Apfel wird weder von dem Dr. Stukely noch „von Conduit erwähnt, und da ich nirgend eine Autorität dafür finden

selbst sagt, Keppler's Lehrsatz habe ihn darauf geleitet, eine den Quadraten der Entfernung proportionale Abnahme der Schwere anzunehmen.

Die durch Huyghens etwas modificirte Theorie des Cartesius wurde noch geraume Zeit nach der Bekanntwerdung von Newton's richtigern Ansichten von vielen vertheidigt, denn selbst die englischen Physiker huldigten nicht alle dem überlegenen Genie ihres Landsmannes. Anhänger des Cartesius, für dessen Gegner von jener Zeit an Newton galt, waren unter andern Saurin[1], de Molières[2], Malebranche und andere. Bülfinger[3] in seiner bekannten Preisschrift nimmt an, die feine Materie bewege sich nicht bloſs um zwei auf einander senkrechte Axen zugleich, sondern mache auch um jede dieser Axen zwei einander entgegengesetzte Bewegungen, so daſs also vier sich durchkreuzende, aber nicht störende Wirbel statt fänden. Inzwischen erkannte er sehr wohl das Gewagte und Ungenügende einer solchen Hypothese und erklärte offen, es sey dieses nur ein Versuch, etwas zu sagen, um nicht ganz über die Sache zu schweigen. Jakob Bernoulli[4] läſst die Säulen der feinen Materie vermöge ihrer Schwungkraft sich gegen die Materie im Himmelsraume stemmen und dadurch Körper, die weniger Schwungkraft haben, zurückgetrieben werden. Varignon[5] leitet die Schwere

„konnte, so nahm ich mir nicht die Freiheit, Gebrauch davon zu „machen.“ Ich selbst bin lebhaft von der Nichtigkeit derselben überzeugt, da es ohnehin Newton nicht ähnlich sieht, mit seinem groſsen Geiste bei einer solchen Kleinigkeit, die viele hundertmal von ihm beobachtet bloſs zufällig eine Idee in ihm rege machen konnte, lange zu verweilen. Hätte dieses jedoch wirklich statt gefunden, so könnte er bloſs mit der Madame Conduit sich darüber unterhalten haben, deren Aussage die einzige Autorität für die ganze Erzählung zu seyn scheint. Weit glaubwürdiger scheint es mir dagegen, daſs Newton aus der ihm eigenen Freundlichkeit gegen diese seine ihm liebe Wirthin dieser die Fallgesetze durch den Fall eines Apfels anschaulich zu machen suchte und diese nachher diese Erläuterung mit der Auffindung des Gravitationsgesetzes in Verbindung brachte.

1 Hist. de l'Acad. T. I. p. 63. Desgl. 1709. p. 131.

2 Ebend. 1729. p. 235.

3 De Causa gravitatis cet. In: Recueil des Pièces qui ont remporté le prix. Par. 1728. 4. T. II. Comment. Pet. I. 245.

4 De gravitate aetheris. Amst. 1683. 8. p. 72.

5 Conjectures sur la Pesanteur. Par. 1691. 8.

von dem ungleichen Drucke einer flüſsigen Materie auf die Körper her und glaubt, daſs, wenn ein Körper so weit von der Erde abstände, daſs unter ihm und über ihm gleich hohe Säulen der flüſsigen Materie befindlich wären, er still stehn, in noch gröſserem Abstande aber sich von der Erde entfernen würde. VILLEMOT[1] erklärt die Schwere auf eine seltsame Weise aus dem Drucke des Centralfeuers oder einer siedenden Materie im Mittelpuncte der Erde und der Planeten. Auch NICOL. FATIO DUILLERIUS[2] redet viel von einer neuen Theorie zur Erklärung der Schwere und verschiedener anderer Naturerscheinungen, in der Hauptsache nahm aber auch dieser an, das ganze Universum sey mit einer sehr feinen und höchst schnell nach allen Richtungen, hauptsächlich aber geradlinig bewegten ätherischen Substanz erfüllt, welche hierbei zwar im Allgemeinen wegen ihrer Feinheit die Erde durchdringe, zum Theil aber auch gegen ihre Theile stoſse, dadurch die Erscheinungen der Schwere erzeuge und doch nur unmerklich in ihrer Bewegung verzögert werde. Selbst LEIBNITZ war mindestens kein Anhänger NEWTON's, indem er sogar noch 1715 in einem Briefe an CONTI sagte[3]: „Ich bin ein „groſser Freund von der Experimentalphysik, aber NEWTON „weicht davon sehr ab, wenn er behauptet, daſs jede Materie „schwer ist oder daſs jedes Theilchen der Materie jedes an„dere anzieht.“ JOHANN BERNOULLI[4] dagegen wollte die Theorie der Wirbel mit den Newton'schen Ansichten vereinigen, und setzt daher in die Mitte der Erde und jedes Planeten eine Centralsonne, aus welcher die feine Materie in geraden Strahlen ausströme, aber in kleinen Flocken von 3 oder 4 und mehrern Kügelchen zurückkehre. Diese Flocken bilden nach seiner Ansicht einen Centralstrom, und da sie wegen ihrer Gröſse die Körper nicht frei durchdringen können, so stoſsen sie gegen ihre kleinsten Theile und treiben sie gegen den Mittelpunct oder die Centralsonne.

Alle diese verschiedenen Systeme, welche insgesammt auf die Cartesische Hypothese von Wirbeln gestützt sind, stellt

1 Nouveau Système ou nouvelle explication du mouvement des Planètes. Lyon 1707. p. 182.

2 Aus ungedruckten Briefen in Bibl. univ. XXIII. p. 83.

3 Newton's Leben von Brewster. S. 175.

4 Oeuv. T. III. p. 146.

Digitized by Google

Maupertuis[1] zuſammen, findet es ſchön, wenn man einfach alles in der Natur auf Materie und Bewegung zurückführen könne, bemerkt aber zugleich, daſs dieses durch die aufgeſtellte Hypotheſe noch keineswegs genügend geſchehn ſey, abgeſehn davon, daſs die Exiſtenz der Bewegung und Materie auf das Bedürfniſs derſelben zur Erklärung der Naturphänomene nicht füglich gegründet werden könne. Der Beifall, welchen das Carteſiſche Syſtem lange Zeit genoſs, beruhte zum Theil mit darauf, daſs es die Phantaſie beſchäftigte und dadurch ſeine bedeutende Schwäche verhüllte, nämlich die, daſs es die Erſcheinungen, genau genommen, nicht erklärt, ſondern die Erklärung bloſs eine Stufe weiter hinausſchiebt. Denn geſetzt auch, die Schwere lieſse ſich aus der Bewegung oder dem Drucke des Aethers erklären, ſo müſste man doch weiter fragen, was der Aether ſeinem Weſen nach ſey und wodurch er ſelbſt ſeine Bewegungen erhalten habe. Dieſes fühlte Newton ſehr wohl, indem er das *Weſen der Anziehung* nicht erklären wollte, welches nach Lichtenberg[2] erſt noch eine weit gröſsere Kenntniſs aller Thatſachen, als unſere jetzige iſt, vorausſetzt; vielmehr begnügte er ſich damit, die geſammten Erſcheinungen der Attraction zu einem in ſich conſequenten Syſteme zu vereinigen.

Seitdem durch die Reſultate der Gradmeſſungen und genauerer Pendelbeobachtungen Newton's Geſetz der Schwere eine auffallende Beſtätigung erhalten hatte, haben nur wenige verſucht, das Weſen derſelben zu erklären. Sehr dunkel, eben daher auch wenig beachtet, iſt dasjenige, was Cadwallader Colden[3] alſo Erklärung derſelben angiebt. Viel Aufſehn dagegen hat die Hypotheſe erregt, die Le Sage aufſtellte, vorzüglich deswegen, weil ſie in dem kenntniſsreichen ältern De Lüc einen Vertheidiger fand. Das Hauptwerk, worin Le Sage den gröſsten Theil der Naturerſcheinungen auf ein allgemeines Geſetz zurückführen wollte, iſt niemals

---

1 Discours sur les différentes Figures des astres. In Oeuv. de Maupertuis. Lyon 1768. 8. T. I. p. 104.

2 Erxleben's Naturlehre. 6te Aufl. S. 86.

3 Erklärung der erſten wirkenden Urſache in der Materie und der Urſache der Schwere. Aus d. Engl. von Kaestner. Hamburg 1748. 8.

Digitized by Google

erschienen und man kennt daher sein System nur aus vorläufigen Schriften von ihm selbst[1] und aus einigen Mittheilungen seiner Vertheidiger L'Huilier[2], Prevost[3] und J. A. de Lüc[4]. Im Allgemeinen nimmt Le Sage an, daſs das ganze Universum mit Atomen erfüllt sey, welche sich nach allen Richtungen bewegen, und indem die Körper vermöge ihrer Porosität bei weitem die meisten durchlassen, trifft sie der Stoſs nur von einigen, welcher aber bei der groſsen Geschwindigkeit der Bewegung völlig hinreichen soll, die Erscheinungen der Schwere zu erklären. Neben dieser Voraussetzung fordert sein System aber noch die Annahme von Zeittheilchen, welche eine unveränderliche Gröſse haben, und insofern eigentliche Zeitatome sind, als sie nicht weiter getrennt werden können. Der Stoſs der schwermachenden Materie erfolgt dann bloſs im Anfange des Zeitatoms, ist unwirksam während des Verlaufes desselben und wird beim folgenden wieder erneuert. Vermittelst solcher willkürlicher Hypothesen bringt Le Sage allerdings eine Erklärung der Schwere heraus, aus welcher namentlich das Gesetz des freien Falls der Körper, nämlich $s = t^2 g$, genau genug folgt, allein das Ungenügende und in sich Widersprechende seiner Voraussetzungen liegt zu klar am Tage, als daſs es belohnend wäre, dieses näher darzuthun. Auf gleiche Weise willkürlich ist die Annahme einer verschiedenen theils geradlinigen, theils krummlinigen, theils spiralförmigen Bewegung der Atome, wodurch verschiedene Naturerscheinungen erklärt werden, so wie einer verschiedenen Gestalt der Atome selbst, woraus die chemische Anziehung und die Krystallisation folgen sollen. Das ganze System ist überhaupt bloſs das weiter ausgeschmückte und etwas modificirte Cartesische, eben daher aber weit entfernt, die eigentliche Ursache der Naturerscheinungen deutlich darzustellen,

1 Essay de chymie mécanique par M. Le Sage. Rouen 1758. 4. Lucrèce Newtonien par M. Le Sage, in Nouv. Mém. de l'Acad. de Berlin. 1782. p. 404.

2 Exposition élément. des principes des calculs supérieurs cet. par L'Huilier. à Berlin 1786. 4. p. 187.

3 De l'origine des forces magnétiques. à Genève 1788. T. I. ch. 2. Deux Traités de physique mécanique. Genève 1818. 8.

4 Neue Ideen über d. Meteorologie. Aus d. Fr. Berl. u. Stettin 1787. Th. I. S. 6. Journ. de Phys. XLII. 83. 218.

Digitized by Google

wie de Lüc meint, wovon man sich durch die gründliche Prüfung desselben durch Kaestner[1] leicht überzeugen kann. Unrecht war es aber von den spätern Naturphilosophen, wegen eines solchen Miſsbrauches der Atomenlehre das Zurückkommen auf untheilbare Elemente bei fortgesetzter Theilung der Körper und eine bleibend materielle Grundlage derselben als in sich widersprechend und vernunftwidrig darzustellen.

Die Vorstellungsart des Dr. Peart, wonach dieser die Ursache der Anziehung zu erklären sucht, die sich aber hauptsächlich auf das Wesen der Materie[2] bezieht, hat zu geringen innern Werth, als daſs sie eine nähere Erläuterung verdienen sollte.

Verschiedene deutsche Physiker glaubten in den neuern eiten die Erscheinungen der Schwere auf die durch Kant hervorgehobene Ziehkraft zurückführen und hiernach ihrem Wesen nach erklären zu können, indem sie dieselbe eine *Grundkraft* nannten. Man sieht jedoch bei vorurtheilsfreier Prüfung bald, daſs diese Kraft nichts anders ist, als die von Newton angenommene Attraction, mit der Erweiterung, daſs sie als Grundkraft nicht bloſs von der Materie unzertrennlich, sondern sogar das Wesen der letztern bedingend seyn sollte, wie schon früher durch Boscovich als ähnliche Hypothese aufgestellt worden war[3]. Ebenso wenig genügend zeigt sich Schelling's[4] Theorie, welcher eine eigene *Schwerkraft* annimmt, weil Anziehung und Abstoſsung als entgegengesetzt einander aufheben und daher zur Erzeugung der Bewegung des Fallens unzureichend seyn müſsten; ein allerdings gegründeter Einwurf.

Eine gleiche Aufmerksamkeit, als die zuletzt genannten Systeme in Deutschland, erregte ein ähnliches in England[5]. Aus einer unter den Geistlichen und vielen andern entstande-

---

1 Prüfung eines von H. Le Sage angegebenen Gesetzes fallender Körper. Deutsch. Museum 1776. Juni. Untersuchungen über d. Atmosph. von J. A. de Lüc. D. Ueb. II. 660.

2 S. Art. *Materie.*

3 Im Art. *Materie* wird die Hypothese von den zwei Grundkräften ausführlich geprüft.

4 Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie. Jena 1799. 8.

5 Hutton Dictionary. T. I. p. 593.

nen Furcht, die Naturlehre möge alles aus Kräften erklären, den Einfluſs der Gottheit ganz ausschlieſsen und dadurch den Atheismus begründen, wurde Vince, Professor der Astronomie zu Cambridge, aufgefordert, die verschiedenen Systeme über Schwere und Gravitation kritisch zu prüfen. Seine Untersuchung wurde mit Beifall aufgenommen und man äuſserte den Wunsch, daſs er sie der königl. Societät überreichen möge. Dieses geschah durch seinen Freund Maskelyne, allein die Sache fand dort weniger Anerkennung, als er erwartet hatte, und er lieſs daher die kleine Schrift 1806 zu Cambridge drucken. Hierin prüft er zuerst die Hypothesen des Cartesius, Newton, Le Sage und Bernoulli, nebst einigen minder bedeutenden, mit Uebergehung der von Boscovich aufgestellten, so sehr diese letztere auch in England beachtet und namentlich durch Robison hervorgehoben worden ist. Dann macht er hauptsächlich die durch Newton aufgestellte Hypothese, wonach die Schwere sowohl auf der Erde, als auch die Gravitation der Himmelskörper gegen die Sonne durch einen feinen Aether bewirkt werden soll, zum Gegenstande einer mathematischen Untersuchung, wobei er folgende zwei Hauptsätze zum Grunde legt:

1) Die Gravitation eines Planeten gegen die Sonne steht im umgekehrten quadratischen Verhältnisse der Entfernung.

2) Eine Kraft, welche in diesem genannten Verhältnisse wirkt, kann nicht aus verschiedenen Kräften zusammengesetzt seyn, die nicht das nämliche Verhältniſs befolgen. Hiernach glaubt er, die Dichtigkeit des Mediums, welches die Anziehung bewirkt, sey meſsbar nach der Zahl der Theilchen, die auf einer gegebenen quadratischen Fläche vertheilt wären, daſs also die Veränderung der Dichtigkeit desselben bei einer Entfernung $= d$ von der Sonne $= d^m$ seyn müsse, mithin die Entfernung der Theilchen von einander $= \frac{1}{d^{\frac{1}{2}m}}$. Indem er dann ferner annimmt, daſs die Elasticität der Theilchen selbst variire als die nte Potenz ihrer Entfernung oder $= \frac{1}{d^{\frac{1}{2}m \cdot n}}$ sey, so erhält er zuletzt $\frac{2m-mn}{3e} \times a^{\frac{2m-mn}{n}-1}$ als Ausdruck der beschleunigenden Kraft der Planeten gegen die Sonne in der Entfernung $= a$. Dieser Ausdruck, bemerkt

Vince, giebt die Gravitation als eine Function von e, der Dichtigkeit des Planeten, und ist also unzulässig, weil die Gravitation von der Gröſse und Dichtigkeit unabhängig ist, und man kann daher keinen Aether als Ursache derselben annehmen.

Playfair[1] hat indeſs später versucht, die Hypothese von einem Aether zu vertheidigen, indem er sagt, eine Variation der Dichtigkeit desselben, durch $ax^m + bx^n$ ausgedrückt, könne allerdings nicht statt finden, weil sonst die hieraus entstehende Kraft zwei Ausdrücke einschlösse. Würde aber eine von diesen Gröſsen constant, z. B. $m = 0$, so erhielte man den Ausdruck $a + bx^n$ und die Kraft lieſse sich durch das Differential von bx^n ausdrücken, d. h. durch eine Gröſse proportional $x^{n-1}dx$. Wäre also die Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne $= x$, die Dichtigkeit des Aethers in dieser Entfernung $= b$, seine Elasticität $= e$, nähme dann b im directen Verhältnisse von x zu oder wäre $= ax$ und $e = c - \frac{1}{b} = c - \frac{1}{ax}$, worin c eine beständige Gröſse ist, die bestimmt würde, wenn man wüſste, in welcher Entfernung vom Mittelpuncte der Sonne die Elasticität des Aethers $= 0$ ist, so könnte man allerdings einen Ausdruck erhalten. Es sey z. B. diese Entfernung $= s$, also $x = s$, $c = \frac{1}{as}$, so daſs $e = \frac{1}{as} - \frac{1}{ax}$ wird, so giebt das Differential $de = \frac{dx}{ax^2}$, und es ist de das Differential der Elasticität, welches dem Differential der Entfernung dx zugehört, mithin die Kraft, womit ein verschwindendes Kügelchen oder ein einzelnes Theilchen der Materie, undurchdringlich für den Aether, gegen die Sonne getrieben wird, und diese verändert sich im Verhältniſs von $1 : ax^2$ oder ist dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional. Es ist daher mindestens *möglich*, daſs ein elastisches Fluidum das Bestreben der Körper, sich einander zu nähern, bewirkt, welches sich im umgekehrten Verhältnisse des Quadrates ihres Abstandes ändert, und hierzu genügt ein Aether, dessen Dichtigkeit seiner Entfernung von der Sonne umgekehrt proportional ist.

---

1 Edinburgh Review. XIII. 101.

Digitized by Google

Schwerlich wird diese Demonstration die Ueberzeugung von der Anwesenheit eines Aethers als Ursache der Schwere und Gravitation hervorzubringen vermögen. Sie beweist indeſs, wie sehr die Britten bemüht sind, Newton's nur beiläufig geäuſserte Hypothese von der möglichen Existenz und Wirkungsart desselben zu rechtfertigen. Am gerathensten bleibt es jedoch immer, die Wirkungen der Schwere durch die Hülfsmittel des Calcüls unter allgemeine Gesetze zu bringen, sie selbst aber vorläufig als eine nicht näher zu bezeichnende Kraft zu betrachten und denjenigen Aufwand von Zeit und Mühe, welchen die vorerst wahrscheinlich fruchtlosen Speculationen über ihr eigentliches Wesen erfordern könnten, der Erforschung anderer noch dunkler Naturgesetze zu widmen.

Es möge hier noch mit wenigen Worten der *negativen* Schwere gedacht werden, deren Existenz eine kurze Zeit die Aufmerksamkeit einiger Physiker in Anspruch nahm. Sie müſste das Entgegengesetzte der bekannten Schwere seyn und dieser letztern ebenso entgegenstehn, als die Zurückstoſsung der Anziehung, folglich sich als ein Bestreben der durch sie afficirten Körper zeigen, den Mittelpunct der Erde zu fliehen. Bis jetzt ist noch nicht erwiesen, daſs die sogenannten unwägbaren Potenzen, Wärme, Licht, Elektricität und Magnetismus, gegen die Erde gravitiren oder schwer sind, und man muſs ihnen daher, falls sie für materiell gehalten werden und ihre Unwägbarkeit aus den bisherigen Versuchen genügend folgt, die Schwere absprechen oder sie für absolut leicht halten, aber für negativ schwer, also der Schwere entgegenstrebend, können sie nicht gehalten werden, wenn man nicht zugleich annehmen will, daſs diese ihre Eigenschaft auf die Körper, womit sie verbunden sind, einen Einfluſs äuſsere, indem sonst z. B. erhitzte Körper leichter seyn, also heiſse Pendel langsamer schwingen müſsten, als kalte. Im Allgemeinen kann also von einer durch Thatsachen angedeuteten negativen Schwere überhaupt keine Rede seyn.

Zur Annahme einer negativen Schwere wurde R. A. C. Gren veranlaſst, um die damals herrschende Vorstellung von der Existenz des *Phlogistons* zu retten. Als nämlich Lavoisier gezeigt hatte, daſs verbrannte (verkalkte, oxydirte) Metalle, von denen also das vermeintliche Phlogiston entfernt war, schwerer seyen, als sie im regulinischen Zustande sich

Digitized by Google

gezeigt hatten, und daſs also kein Phlogiston existiren könne, so legte Gren diesem eine negative Schwere bei. Gründlich wurde diese Hypothese widerlegt durch J. T. Mayer[1], dessen Beweis hauptsächlich auf folgenden Sätzen beruht. Wenn die Masse = M eines Körpers aus zwei Theilen = Q und N zusammengesetzt ist, wovon ersterer durch die Kraft = g niederwärts, letzterer durch die Kraft = γ aufwärts gezogen wird, so ist der Druck, womit beide in entgegengesetzter Richtung getrieben werden, = gQ und γN. Sind beide gleich, so wird M ruhn, ist aber gQ gröſser, so drückt M niederwärts mit einer Kraft = gQ — γN. Wenn man dieses auf die ganze Masse vertheilt, also durch M dividirt, so ist die Beschleunigung $= \frac{gQ - \gamma N}{M} = G$, und der Körper muſs also langsamer fallen. Gren suchte seine Hypothese dadurch zu retten, daſs er zeigte, derjenige Theil der Masse, welcher durch die Verbindung mit dem negativ schweren Phlogiston sein ganzes Gewicht verliere, müsse zwar das Totalgewicht um eine gewisse Gröſse vermindern, könne aber bei einem Gewichte = 0 das Fallgesetz der übrigen Masse nicht abändern; übersah hierbei aber, daſs dieses fehlenden Gewichts des nicht schweren Theils ungeachtet die Masse desselben doch blieb, folglich auch durch die bewegende Kraft des Restes mit bewegt werden muſste, und daſs hierzu ein Kraftaufwand erfordert werde, welcher die Wirkung der Gesammtkraft verminderte. Zuletzt erkannte er seinen Irrthum und gab die Hypothese auf[2]. Aus speculativen Gründen behauptet auch Fries[3], daſs es allerdings eine negative Schwere geben könne, allein man sieht bald, daſs hierbei bloſs von der logischen Möglichkeit die Rede sey, indem die Erfahrung und die anderweitigen wohlerkannten Naturgesetze dieser Annahme widerstreiten.

M.

1 Gren Journ. Th. I. S. 205. 359.

2 Ebend. Th. II. S. 198. Vergl. C. F. Hindenburg Programm, quo ostenditur, calorem et phlogiston non esse materias absolute leves.

3 Mathematische Naturphilosophie. S. 555.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google